



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108804773 A

(43)申请公布日 2018. 11. 13

(21)申请号 201810494499.4

(22)申请日 2018.05.22

(71)申请人 南通大学

地址 226000 江苏省南通市啬园路9号

(72)发明人 邱自学 高志来 袁江 陶涛

(74)专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所

(普通合伙) 32249

代理人 许洁

(51)Int. Cl.

G06F 17/50(2006.01)

G06N 3/12(2006.01)

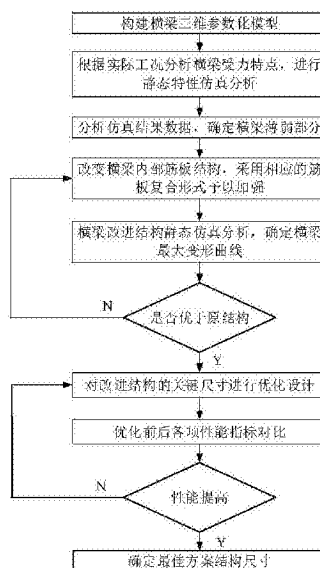
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法

(57)摘要

本发明公开了一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法,主要包括下列步骤:构建机床横梁三维结构参数化模型,进行静态特性仿真分析;根据横梁仿真结果数据,确定横梁结构设计最薄弱部分;改变横梁内部筋板结构设计,采用多种筋板结构复合的形式对横梁局部薄弱部分进行加强;确定横梁改进结构,并对其关键尺寸进行优化设计;对比优化前后的各项性能,验证最终方案的合理性。本发明提出的优化设计方法合理可靠,易于实现,减轻横梁质量的同时提高其静动态性能,具有较强的工程实用性。



1. 一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 构建机床横梁三维结构参数化模型,并根据实际工况分析横梁受力特点,将其导入有限元分析软件进行静态特性仿真分析;

(2) 对机床横梁仿真结果数据进行分析,发现横梁线轨安装面附近为横梁最薄弱部分,且沿线轨安装面长度方向上,横梁中间变形量最大,往两边依次减小;

(3) 改变横梁内部筋板结构,采用多种筋板结构复合的形式,即在原横梁筋板结构的基础上,增加一种或多种形式的筋板结构,在提升横梁整体刚度的同时,对横梁局部薄弱部分进行加强;

(4) 对改进后的机床横梁进行静态特性仿真分析,分析沿线轨安装面长度方向上横梁变形量是否较原结构减小,若优于原结构,则按步骤(5)进行尺寸优化设计,否则,改变复合筋板结构的类型或增加复合筋板的种类进行改进;

(5) 在横梁受力最恶劣的工况条件下,对确定内部筋板结构形式的机床横梁改进方案进行静态特性仿真分析,并采用多目标遗传算法对其关键尺寸进行优化设计,在保证横梁静态性能的前提下,减轻横梁重量;

所述采用多目标遗传算法进行横梁关键尺寸优化设计的约束条件数学模型为:

$$\begin{cases} \min F(\mathbf{X}) = [m_r(\mathbf{X}), \delta_h(\mathbf{X}), -f_v(\mathbf{X})] \\ \text{s.t.} \begin{cases} \mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \\ m_r(\mathbf{X}) \leq m_0, r = 1, 2, \dots, l \\ \delta_h(\mathbf{X}) \leq \delta_0, h = 1, 2, \dots, s \\ f_v(\mathbf{X}) \geq f_0, v = 1, 2, \dots, p \\ x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{cases}$$

其中 \mathbf{X} 为 n 维空间决策向量; $F(\mathbf{X})$ 为优化目标向量; m_0 、 δ_0 、 f_0 分别为原横梁结构的质量、最大变形量和一阶固有频率; $m_r(\mathbf{X})$ 、 $\delta_h(\mathbf{X})$ 、 $f_v(\mathbf{X})$ 分别为横梁质量、最大变形量、和一阶固有频率的优化目标函数; x_i 为优化设计中关键尺寸设计变量, $x_{i\max}$ 和 $x_{i\min}$ 为第 i 个关键尺寸设计变量对应的上下限;

(6) 比较最终优化设计方案与原横梁设计方案的各项性能,验证最终方案的合理性。

2. 根据权利要求1所述的一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法,其特征在于:在步骤(1)中,以机床滑座组件在横梁线轨行程范围内的不同位置对横梁的作用进行有限元分析,从横梁最左侧开始选取受力面中心,依次每间隔200mm进行不同位置的静态特性分析,得到相应位置下的横梁最大变形量。

3. 根据权利要求1所述的一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法,其特征在于:所采用的的多筋板结构复合形式为:在原横梁筋板结构及仿真分析数据的基础上,针对其受力及变形特点,沿横梁线轨安装面长度方向上布置扇型筋板,并在横梁中间位置设置米字型筋板。

4. 根据权利要求1所述的一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法,其特征在于:以滑座组件位于横梁中间位置时的工况条件,进行横梁改进方案的静态特性分析及其关键尺寸优化设计。

采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于机床设计技术领域,涉及一种机床关键零部件的结构设计方法,具体涉及一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法。

背景技术

[0002] 机床横梁作为数控机床的重要部件,其上承载着滑座、滑枕、主轴等关键零部件的重量,因自身重力和外部载荷所引起的横梁变形将直接影响机床的整机性能,进而影响到工件的几何精度及表面加工质量。因此,要求横梁除具有质量轻、高刚度、小变形外,还要具有良好的动态特性。

[0003] 传统的横梁设计多采用经验设计或类比设计,缺少相应的理论依据,存在一定的保守性和盲目性。如专利CN201720730535.3公开了一种机床横梁,通过在有支撑的横梁中间部设置“井”字型加强筋,在两端设置“米”字型加强筋,并且在其剖面上设置多个“工”字型结构来进行横梁的筋板结构设计。该专利中对于横梁内部筋板结构的布置为定性设计,缺乏相应的横梁变形量数据作为支撑,难以判断横梁在加工过程中真正的薄弱点;且对于筋板的厚度尺寸参数设置也无法确定,将会造成筋板材料的“冗余”,横梁总体质量的增加。因而,专利CN201720730535.3对横梁结构的设计具有一定的盲目性,优化设计效果也无从保证。

[0004] 为了解决现有横梁设计中存在的问题,提出了一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法,借助计算机虚拟建模及仿真技术对横梁进行有限元分析,准确找出横梁薄弱点,采用多种筋板结构相结合的形式增强横梁局部刚度,并对横梁设计的关键尺寸进行优化设计,在保证其静动态特性的前提下,减少材料冗余,实现横梁的轻量化设计。

发明内容

[0005] 本发明目的在于解决传统横梁结构设计中存在的问题,提供一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法。该方法通过采用多筋板复合的形式对分析确定的横梁薄弱点进行加强,并对横梁关键尺寸进行优化设计,在保证其静动态性能的前提下,实现横梁的轻量化设计,具有较强的工程实用性。

[0006] 为达成上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法,主要包括以下步骤:

[0008] (1) 构建机床横梁三维结构参数化模型,并根据实际工况分析横梁受力特点,将其导入有限元分析软件进行静态特性仿真分析;

[0009] (2) 对机床横梁仿真结果数据进行分析,发现横梁线轨安装面附近为横梁最薄弱部分,且沿线轨安装面长度方向上,横梁中间变形量最大,往两边依次减小;

[0010] (3) 改变横梁内部筋板结构,采用多种筋板结构复合的形式,即在原横梁筋板结构

的基础上,增加一种或多种形式的筋板结构,在提升横梁整体刚度的同时,对横梁局部薄弱部分进行加强;

[0011] (4)对改进后的机床横梁进行静态特性仿真分析,分析沿线轨安装面长度方向上横梁变形量是否较原结构减小,若优于原结构,则按步骤(5)进行尺寸优化设计,否则,改变复合筋板结构的类型或增加复合筋板的种类进行改进;

[0012] (5)在横梁受力最恶劣的工况条件下,对确定内部筋板结构形式的机床横梁改进方案进行静动态特性仿真分析,并采用多目标遗传算法对其关键尺寸进行优化设计,在保证横梁静动态性能的前提下,减轻横梁重量;

[0013] 所述采用多目标遗传算法进行横梁关键尺寸优化设计的约束条件数学模型为:

$$[0014] \begin{cases} \min F(\mathbf{X}) = [m_r(\mathbf{X}), \delta_h(\mathbf{X}), -f_v(\mathbf{X})] \\ \text{s.t.} \begin{cases} \mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \\ m_r(\mathbf{X}) \leq m_0, r = 1, 2, \dots, l \\ \delta_h(\mathbf{X}) \leq \delta_0, h = 1, 2, \dots, s \\ f_v(\mathbf{X}) \geq f_0, v = 1, 2, \dots, p \\ x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{cases}$$

[0015] 其中 \mathbf{X} 为 n 维空间决策向量; $F(\mathbf{X})$ 为优化目标向量; m_0 、 δ_0 、 f_0 分别为原横梁结构的质量、最大变形量和一阶固有频率; $m_r(\mathbf{X})$ 、 $\delta_h(\mathbf{X})$ 、 $f_v(\mathbf{X})$ 分别为横梁质量、最大变形量和一阶固有频率的优化目标函数; x_i 为优化设计中关键尺寸设计变量, $x_{i\max}$ 和 $x_{i\min}$ 为第 i 个关键尺寸设计变量对应的上下限;

[0016] (6)比较最终优化设计方案与原横梁设计方案的各项性能,验证最终方案的合理性。

[0017] 进一步地,在步骤(1)中,以机床滑座组件在横梁线轨行程范围内的不同位置对横梁的作用进行有限元分析,从横梁最左侧开始选取受力面中心,依次每间隔200mm进行不同位置的静态特性分析,得到相应位置下的横梁最大变形量。

[0018] 进一步地,所采用的多筋板结构复合形式为:在原横梁筋板结构及仿真分析数据的基础上,针对其受力及变形特点,沿横梁线轨安装面长度方向上布置扇型筋板,并在横梁中间位置设置米字型筋板。

[0019] 进一步地,以滑座组件位于横梁中间位置时的工况条件,进行横梁改进方案的静动态特性分析及其关键尺寸优化设计。

[0020] 本发明的优点是:

[0021] (1)本发明提出的一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法,通过有限元仿真数据,准确找出横梁结构薄弱点,并采用多种筋板结构复合的形式对局部薄弱部分进行加强,提高横梁整体稳定性;

[0022] (2)对改进后的横梁结构关键尺寸进行优化设计,减少筋板材料“冗余”,并在保证其静动态性能的前提下,实现横梁轻量化设计。

[0023] (3)通过将横梁最终方案与原方案各项性能指标进行对比,验证本发明所提方法的合理性,证明该方法是合理可靠的,且易于实现,具有较强的工程实用性,为数控机床其他关键零部件的设计提供了有益参考。

附图说明

- [0024] 图1为采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计方法的实施流程；
- [0025] 图2为构建的初始横梁三维结构模型示意图；
- [0026] 图3为改进后横梁三维结构模型示意图；
- [0027] 图4为多筋板结构复合的箱中箱式横梁内部筋板类型及布置示意图；
- [0028] 图5为横梁改进结构与初始结构变形仿真数据对比曲线图；
- [0029] 图6为横梁改进结构关键尺寸示意图。

具体实施方式

[0030] 以下结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0031] 实施例

[0032] 本发明以桥式龙门铣床横梁结构设计改进作为实施例,具体实施流程如图1所示。首先,构建初始机床横梁三维结构参数化模型,如图2所示。

[0033] 再根据实际工况分析横梁受力特点,将其导入有限元分析软件,以机床滑座组件在横梁线轨行程范围内的不同位置对横梁的作用条件来进行静态特性仿真分析。从横梁最左侧开始选取受力面中心,依次每间隔200mm进行不同位置的静态特性分析,得到相应位置下的横梁最大变形量。对机床横梁仿真结果数据进行分析,发现横梁线轨安装面附近为横梁最薄弱部分,且沿线轨安装面长度方向上,横梁中间变形量最大,往两边依次减小。

[0034] 然后在原横梁筋板结构及仿真分析数据的基础上,针对其受力及变形特点,改变横梁内部筋板结构,采用多种筋板结构复合的形式对横梁局部薄弱部分进行加强。在沿横梁线轨安装面长度方向上布置扇型筋板,并在横梁中间位置设置米字型筋板,如图3和图4所示。对改进后的机床横梁进行静态特性仿真分析,得到沿线轨安装面长度方向上的横梁变形量,绘制各个方案的横梁变形曲线,如图5所示。

[0035] 通过对比分析由各个方案的仿真数据构成的横梁变形曲线,在沿横梁线轨安装面长度方向上布置扇型筋板后,其变形量明显减小;在上述井型和扇型筋板结构复合的基础上,在横梁中间变形量最大的位置设置米字型筋板后,横梁中间薄弱部分得到加强,变形量减小,同时也横梁两侧相应位置的变形量也有所减小,提升了横梁整体的刚性,从而确定“井型+扇型+米字型”的筋板结构复合的机床横梁结构。

[0036] 最后,以滑座组件位于横梁中间位置时的工况条件,采用多目标遗传算法对其关键尺寸进行优化设计。根据横梁结构特征,选择如图6所示的12个关键设计尺寸作为优化尺寸,并设置合适的取值范围,各关键尺寸的初值及取值范围如表1所示。

[0037] 表1关键设计尺寸参数设置信息

| 设计尺寸 | 参数变量 X | 初始值/mm | 取值范围/mm |
|---------------|----------|--------|---------|
| 下壁厚 | x_1 | 50 | 45~55 |
| 前箱体外壁厚 | x_2 | 30 | 15~35 |
| 砂孔直径 | x_3 | 215 | 200~230 |
| 筋板厚度 | x_4 | 20 | 18~22 |
| 前箱体内壁厚 | x_5 | 30 | 15~35 |
| [0038] 复合筋板宽度 | x_6 | 53 | 35~60 |
| 后箱体内壁厚 | x_7 | 30 | 25~40 |
| 上壁厚 | x_8 | 50 | 45~55 |
| 圆角矩形边距 | x_9 | 20 | 18~22 |
| 弧形槽壁厚 | x_{10} | 25 | 20~30 |
| 后箱体外壁厚 | x_{11} | 30 | 25~40 |
| 左右箱体内外壁厚 | x_{12} | 30 | 25~35 |

[0039] 利用ANSYS Workbench中基于多目标遗传算法的优化设计模块对横梁改进结构进行试验设计,建立12个设计变量与3个特性指标之间的函数关系,得到289组样本点,再按照多目标遗传算法数学优化模型设置约束条件进行求解,得到关键尺寸变量优化值,并进行圆整,如表2所示。

[0040] 表2关键设计尺寸变量优化结果

| 参数变量 X | 优化值 | 圆整值 | 参数变量 X | 优化值 | 圆整值 |
|--------------|--------|-----|----------|--------|-----|
| x_1 | 50.849 | 51 | x_7 | 25.414 | 25 |
| x_2 | 19.949 | 20 | x_8 | 45.108 | 45 |
| [0041] x_3 | 210.18 | 210 | x_9 | 18.678 | 19 |
| x_4 | 19.746 | 20 | x_{10} | 23.926 | 24 |
| x_5 | 24.03 | 24 | x_{11} | 32.480 | 32 |
| x_6 | 36.728 | 37 | x_{12} | 32.842 | 33 |

[0042] 根据圆整结果对横梁改进结构三维模型修改,并重新导入有限元分析软件进行验证分析。最终优化设计方案与原横梁和横梁改进结构的仿真分析数据对比如表3所示。

[0043] 表3优化前后结果比较

| 方 案 | 优化目标 | | |
|------------|-----------|---------------------|---------------|
| | 质量 M/kg | 最大变形 $\delta/\mu m$ | 一阶固有频率 f/Hz |
| [0044] 原结构 | 4401.4 | 31.992 | 104.6 |
| 横梁改进结构 | 4791.9 | 31.113 | 99.435 |
| 最终优化设计方案 | 4174.9 | 28.519 | 107.22 |
| 优化前后对比 | -226.5 | -10.86% | +2.5% |

[0045] 由上述仿真分析数据可以得到,原横梁在采用多筋板结构复合的筋板结构形式后,最大变形量减小,横梁整体刚性提高。但由于增加了筋板,重量有所增加,固有频率略有减小;因而,在改进结构的基础上对横梁关键尺寸进行优化。优化后,与原横梁方案相比,横梁质量减轻了226.5kg,最大变形量减小了10.86%,一阶固有频率增加了2.5%,证明了最终优化方案的合理性。

[0046] 综上所述,本发明提出的一种采用多筋板结构复合的箱中箱式机床横梁优化设计

方法通过有限元分析发现原横梁结构薄弱点,确定整体改进结构方案,再对其关键尺寸进行优化,思路清晰;将优化后的横梁仿真结果数据与原横梁进行对比,静动态特性提高,且实现了横梁的轻量化设计,证明最终优化方案合理可靠,具有较强的工程实用性。

[0047] 以上所举实施例仅为本发明的一个较佳实施例。上述具体实施方式仅仅用于示例性说明或解释本发明的原理,而不构成对本发明的限制。因此,在不偏离本发明的精神和范围的情况下所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围内。此外,本发明所附权利要求旨在涵盖落入所附权利要求范围和边界、或者这种范围和边界的等同形式以内的全部变化和修改例。

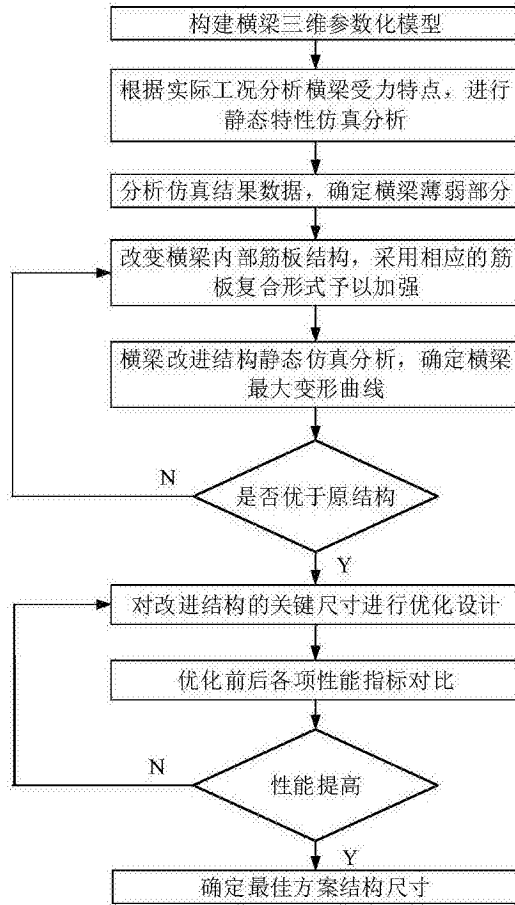


图1

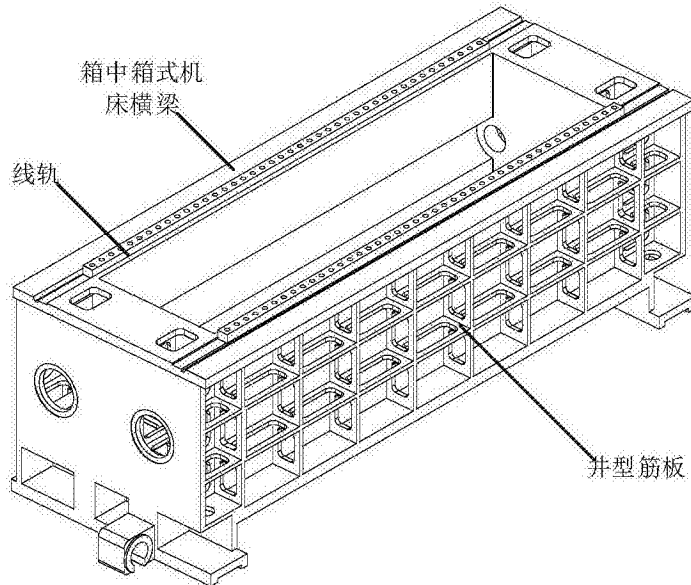


图2

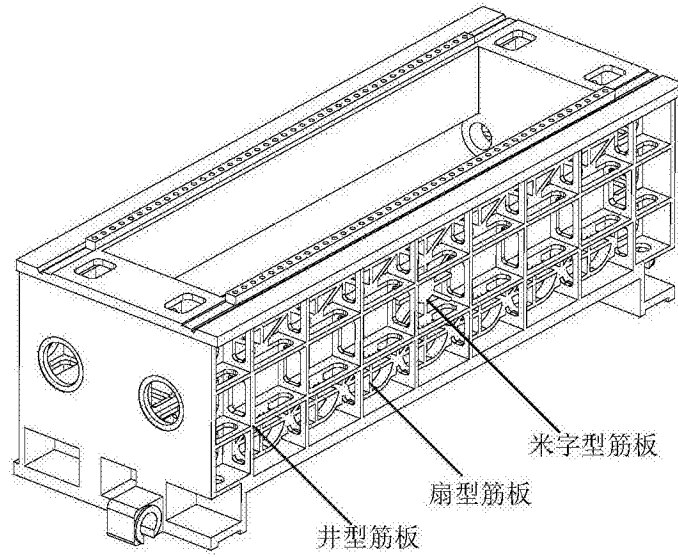


图3

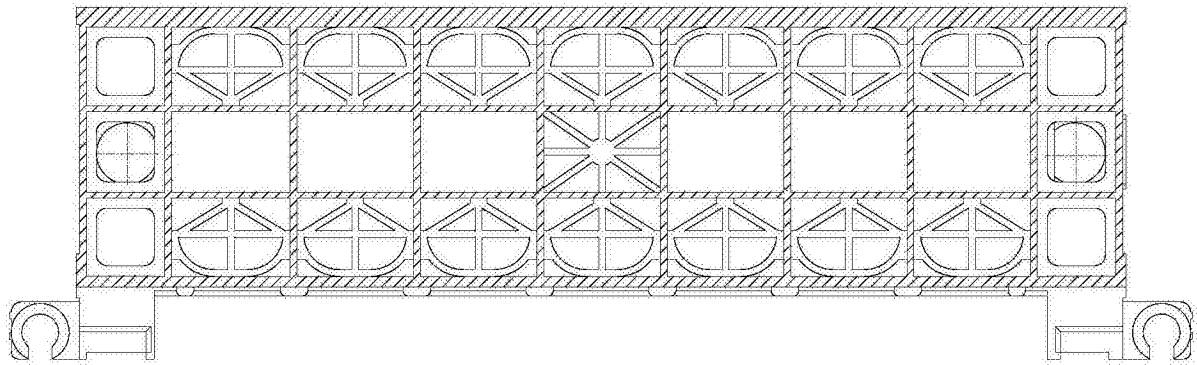


图4

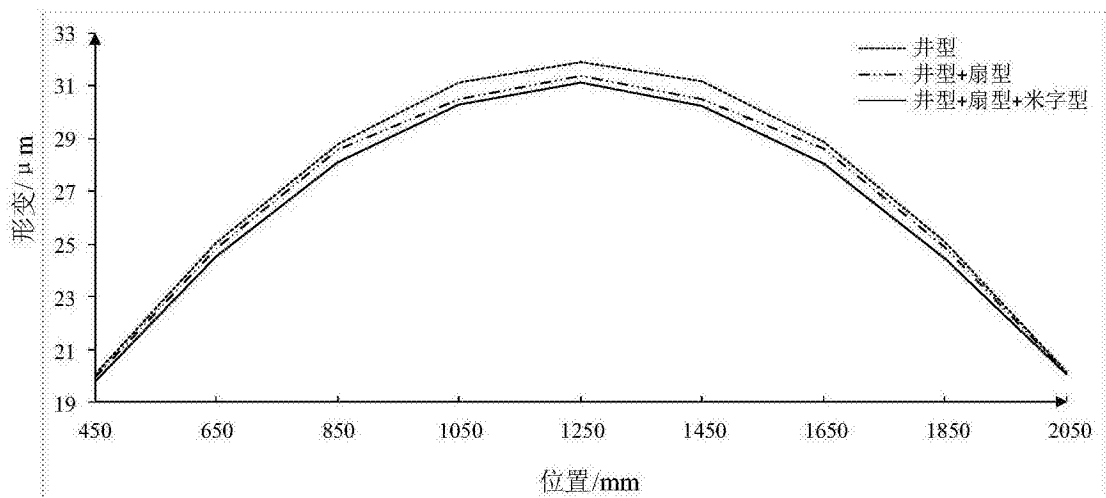


图5

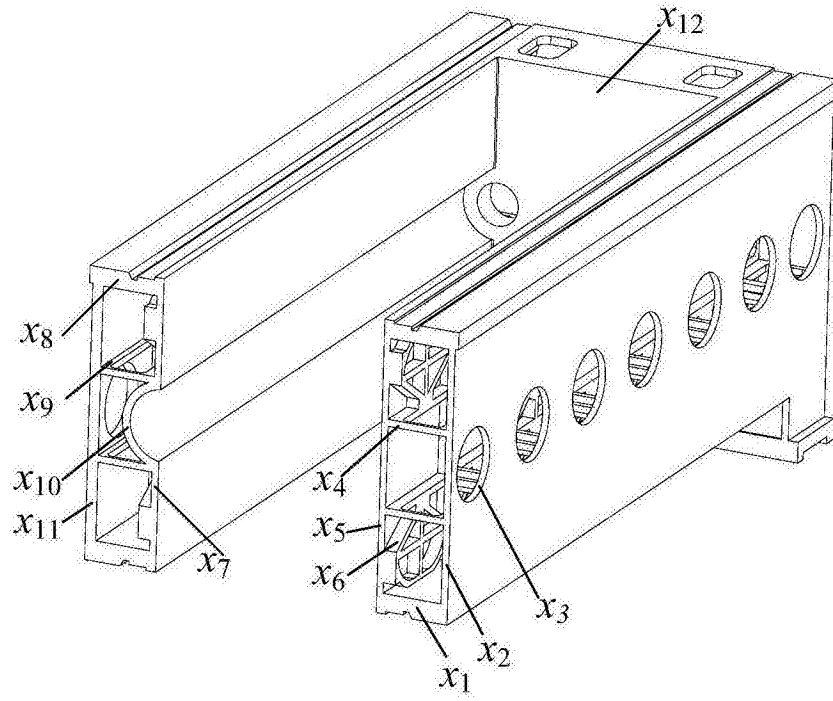


图6