



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113673050 B

(45) 授权公告日 2022.04.12

(21) 申请号 202110919147.0

G06F 30/20 (2020.01)

(22) 申请日 2021.08.11

G06F 111/10 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G06F 119/02 (2020.01)

申请公布号 CN 113673050 A

审查员 王宇莉

(43) 申请公布日 2021.11.19

(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 路玲玲 李明起 宋宏伟 邢晓冬
杨乐凯 赖姜

(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

代理人 焦海峰

(51) Int. Cl.

G06F 30/17 (2020.01)

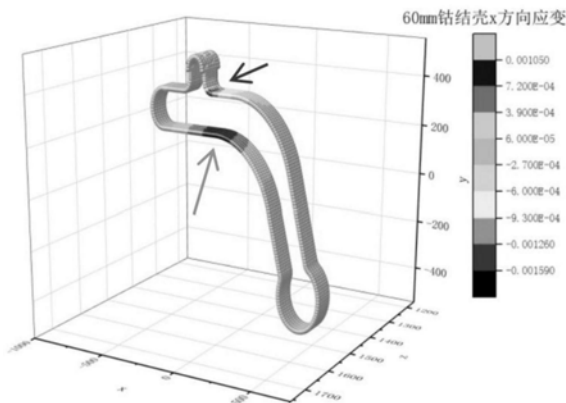
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于采掘头动臂应变响应的采掘物识别方法

(57) 摘要

本发明实施例公开了基于采掘头动臂应变响应的采掘物识别方法,包括:S100、构建采掘头的有限元模型,通过数值模拟的方式获得不同采掘物下采掘头动臂上关键区域的应变响应规律;S200、通过数值模拟或实验提取的方式得到采掘头动臂上的待测应变响应规律;S300、将步骤S200中得到的待测应变响应规律与步骤S100中的参考应变响应规律进行对比,识别步骤S200中的采掘物类型;其中,步骤S100中,所述数值模型包括:在采掘头截割过程中,对应获得的截齿切向力、径向力和轴向力。本发明通过准确建立采掘物属性(材料本构)与结构动臂应变响应的对应关系,可有效识别当前采掘物质的类型。



1. 一种基于采掘头动臂应变响应的采掘物识别方法,其特征在于,包括:

S100、构建采掘头的有限元模型,通过数值模拟的方式获得不同采掘物下采掘头动臂上关键区域的应变响应规律;

S200、通过数值模拟或实验提取的方式得到采掘头动臂上的待测应变响应规律;

S300、将步骤S200中得到的待测应变响应规律与步骤S100得到的应变响应规律进行比对,识别步骤S200中的采掘物类型;其中,

步骤S100中,所述数值模型中包括:在采掘头截割过程中,对应获得的截齿切向力、径向力和轴向力;

步骤S100与步骤S200中获得的是采掘头动臂关键路径的应变响应规律,且所述关键路径的应变响应规律中的最高值与最低值之间的差异明显;

所述采掘头动臂关键路径的获得方式具体包括:

S101、建立采掘头的三维几何模型,并对得到的三维几何模型进行简化,除去小结构几何体,获得简化后的分析模型;

S102、对简化后的分析模型进行有限元分析;

S103、根据路径选取实际布置传感器的优选位置,由于采掘过程中动臂路径上的应变响应最大,故选择动臂为优选位置;

S104、依据动臂上应变响应规律,响应敏感位置作为路径的优选位置,进一步依据动臂形状及光纤传感器分布规律,选取多条路径作为备选路径,根据最终多条备选路径上的应变响应规律,最终选取动臂外边缘处的两条路径作为优选路径,即为关键路径。

2. 根据权利要求1所述的一种采掘物识别方法,其特征在于,步骤S100中,所述切向力、所述径向力和所述轴向力的计算公式具体包括:

$$F_{\tau it} = 10A \frac{0.35b+0.3}{b+Bh_{it}^{0.5}} l_0 k h_{it} \frac{1}{\cos \beta} + 100fk_n \sigma_y s_d,$$

$$F_{nit} = K_n F_{\tau it} + 100k_n \sigma_y s_d,$$

$$F_{tit} = F_{\tau it} \left(\frac{e}{h_{it}+c} + d \right) \frac{h_{it}}{l_0};$$

其中, $F_{\tau it}$ 为切向力, F_{nit} 为径向力, F_{tit} 为轴向力, K_n 为锋利截齿平均牵引力与平均切割力的比值, k 为截割工况系数, c 、 d 、 e 为经验系数, b 为截齿刃宽度, l_0 为截齿截距, f 为截齿截割阻力系数, β 为截齿相对于牵引方向的安装角度, s_d 为截齿磨损面积, k_n 为应力容量系数, h_{it} 为截割采掘物厚度, A 为采掘物的截割阻抗, B 为采掘物的脆性程度指数, σ_y 为采掘物的抗压强度;当采掘头为棋盘式时, $c=2.2$, $d=0.1$, $e=1$;当采掘头为顺序式时, $c=0.3$, $d=0.15$, $e=1.4$ 。

3. 根据权利要求2所述的一种采掘物识别方法,其特征在于,所述采掘头的截齿分布形式为棋盘式。

4. 根据权利要求2所述的一种采掘物识别方法,其特征在于,步骤S100为采用ABAQUS软件进行数值模拟。

5. 根据权利要求1-4中任意一项所述的一种采掘物识别方法,其特征在于,所述关键区域包括采掘头动臂的上部区域和下部区域。

一种基于采掘头动臂应变响应的采掘物识别方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及深海矿物采掘技术领域，具体涉及一种基于采掘头动臂应变响应的采掘物识别方法。

背景技术

[0002] 海底富钴结壳是一种极具商业开发前景的矿产资源，是未来人类开发利用有价金属的重要来源，大多生长在水深500-4000米的海山、岛屿斜坡上，富含钴、铂、镍、锰、铜等战略物资。其中，钴的平均含量最高，品位高达0.8%至1.2%，最高可达到2%，较陆地原生矿高几十倍，铂平均含量也高于陆地相应矿床的80倍。富钴结壳矿区地形复杂，表面起伏不平，薄层结壳矿体附着在硬质基岩上，结壳厚度分布不均，采掘时要求采矿头适应复杂的微地形特征，一般采用螺旋滚筒采掘装置将其与基岩剥离采掘。

[0003] 在对深海富钴结壳矿区进行开采时，一般采掘头截割矿物质的过程中是由采矿车通过动臂上的液压缸控制采掘头的升降。目前，由于采掘头无法识别采掘物种类为钴结壳或基岩，从而导致采集的物料中易混有大量杂质(基岩)。同时，在采掘过程中，采矿车相对运动形式较为单一，目前设计的采矿机动臂难以实现采掘深度的智能调控。

发明内容

[0004] 为此，本发明实施例提供一种基于采掘头动臂应变响应的采掘物识别方法。通过准确建立采掘物属性(材料本构)与结构动臂应变响应的对应关系，可有效识别当前采掘物质的类型。

[0005] 为了实现上述目的，本发明的实施方式提供如下技术方案：

[0006] 在本发明实施例的一个方面，提供了一种基于采掘头动臂应变响应的采掘物识别方法，包括：

[0007] S100、构建采掘头的有限元模型，通过数值模拟的方式获得不同采掘物下采掘头动臂上关键区域的应变响应规律；

[0008] S200、通过数值模拟或实验提取的方式得到采掘头动臂上的待测应变响应规律；

[0009] S300、将步骤S200中得到的待测应变响应规律与步骤S100中的应变响应规律进行对比，识别步骤S200中的采掘物类型；其中，

[0010] 步骤S100中，所述数值模型中包括：在采掘头截割过程中，对应获得的截齿切向力、径向力和轴向力。

[0011] 作为本发明的一种优选方案，步骤S100中，所述切向力、所述径向力和所述轴向力的计算公式具体包括：

$$[0012] \quad F_{\tau it} = 10A \frac{0.35b+0.3}{b+Bh_{it}^{0.5}} l_0 k h_{it} \frac{1}{\cos \beta} + 100f k_n \sigma_y S_d,$$

$$[0013] \quad F_{nit} = K_n F_{\tau it} + 100k_n \sigma_y S_d,$$

$$[0014] \quad F_{tit} = F_{rit} \left(\frac{e}{h_{it}+c} + d \right) \frac{h_{it}}{l_0};$$

[0015] 其中, F_{rit} 为切向力, F_{nit} 为径向力, F_{tit} 为轴向力, K_n 为锋利截齿平均牵引力与平均切割力的比值, k 为截割工况系数, c 、 d 、 e 为经验系数, b 为截齿刃宽度, l_0 为截齿截距, f 为截齿截割阻力系数, β 为截齿相对于牵引方向的安装角度, s_d 为截齿磨损面积, k_n 为应力容量系数, h_{it} 为截割采掘物厚度, A 为采掘物的截割阻抗, B 为采掘物的脆性程度指数, σ_y 为采掘物的抗压强度; 当采掘头为棋盘式时, $c=2.2$, $d=0.1$, $e=1$; 当采掘头为顺序式时, $c=0.3$, $d=0.15$, $e=1.4$ 。

[0016] 作为本发明的一种优选方案, 所述采掘头的截齿分布形式为棋盘式。

[0017] 作为本发明的一种优选方案, 步骤S100为采用ABAQUS软件进行数值模拟。

[0018] 作为本发明的一种优选方案, 步骤S100与步骤S200中获得的是采掘头动臂的关键路径的应变响应规律, 且所述关键路径的应变响应规律中的最高值与最低值之间的差异明显, 采掘不同采掘物时路径起始端及尾端应变响应会有明显差异。

[0019] 作为本发明的一种优选方案, 所述采掘头动臂的关键路径的获得方式具体包括:

[0020] S101、建立采掘头的三维几何模型, 并对得到的三维几何模型进行简化, 除去小结构几何体, 获得简化后的分析模型;

[0021] S102、对获得的简化后的分析模型进行有限元分析;

[0022] S103、根据路径选取实际布置传感器的优选位置, 由于采掘过程中动臂路径上的应变响应最大, 故选择动臂为优选位置;

[0023] S104、依据动臂上应变响应规律, 将响应敏感位置作为路径的优选位置, 进一步依据动臂形状及光纤传感器分布规律, 选取多条路径作为备选路径, 根据最终多条备选路径上的应变响应规律, 最终选取动臂外边缘处的两条路径作为优选路径, 即为关键路径。

[0024] 作为本发明的一种优选方案, 所述关键区域包括采掘头动臂的上部区域和下部区域。

[0025] 本发明的实施方式具有如下优点:

[0026] 本发明通过选择采掘头动臂上的关键区域或位置作为应变响应的提取位置, 进一步基于动臂在截割不同物质类型时的应变响应特征, 从而对采掘物进行有效识别, 为采掘过程中的智能控制提供重要指导。

附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案, 下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地, 下面描述中的附图仅仅是示例性的, 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, 还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0028] 本说明书所绘示的结构、比例、大小等, 均仅用以配合说明书所揭示的内容, 以供熟悉此技术的人士了解与阅读, 并非用以限定本发明可实施的限定条件, 故不具技术上的实质意义, 任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整, 在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下, 均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。

[0029] 图1为本发明提供的采掘头中的截齿在截割过程中切向力、径向力和轴向力的受

力方向示意图；

[0030] 图2为本发明构建的采掘头的有限元模型；

[0031] 图3为本发明提供的位于采掘头下部的关键区域的示意图；

[0032] 图4为本发明提供的位于采掘头上部的关键区域的示意图；

[0033] 图5为本发明提供的采掘过程中采掘头上的应变响应图；

[0034] 图6为本发明提供的采掘头动臂在采掘过程中的应变响应图；

[0035] 图7为本发明提供的位于采掘头下部的关键区域的应变响应规律图；

[0036] 图8为本发明提供的位于采掘头上部的关键区域的应变响应规律图。

具体实施方式

[0037] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效,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。

[0038] 如图1-图8所示,本发明提供了一种基于采掘头动臂应变响应的采掘物识别方法,包括:

[0039] S100、构建采掘头的有限元模型,通过数值模拟的方式获得不同采掘物下采掘头动臂上关键区域的应变响应规律;

[0040] S200、通过数值模拟或实验提取的方式得到采掘头动臂上的待测应变响应规律;

[0041] S300、将步骤S200中得到的待测应变响应规律与步骤S100中的应变响应规律进行对比,识别步骤S200中的采掘物类型;其中,

[0042] 步骤S100中,所述数值至少包括:在采掘头截割过程中,对应获得的截齿的切向力、径向力和轴向力。

[0043] 在一个具体的实施例中,具体地,参考应变响应规律的获得是基于对采掘头的计算机仿真模拟,并根据切向力、径向力和轴向力以及其他的网格材料采用ABAQUS软件进行数值模拟计算获得,因此,在此需要对切向力、径向力和轴向力根据模拟数据采用如下公式获得:

$$[0044] \quad F_{\tau it} = 10A \frac{0.35b+0.3}{b+Bh_{it}^{0.5}} l_0 k h_{it} \frac{1}{\cos \beta} + 100f k_n \sigma_y s_d,$$

$$[0045] \quad F_{nit} = K_n F_{\tau it} + 100k_n \sigma_y s_d,$$

$$[0046] \quad F_{tit} = F_{\tau it} \left(\frac{e}{h_{it}+c} + d \right) \frac{h_{it}}{l_0};$$

[0047] 其中, $F_{\tau it}$ 为切向力, F_{nit} 为径向力, F_{tit} 为轴向力, K_n 为锋利截齿平均牵引力与平均切割力的比值, k 为截割工况系数, c 、 d 、 e 为经验系数, b 为截齿刃宽度, l_0 为截齿截距, f 为截齿截割阻力系数, β 为截齿相对于牵引方向的安装角度, s_d 为截齿磨损面积, k_n 为应力容量系数, h_{it} 为截割采掘物厚度, A 为采掘物的截割阻抗, B 为采掘物的脆性程度指数, σ_y 为采掘物的抗压强度;当采掘头为棋盘式时, $c=2.2$, $d=0.1$, $e=1$;当采掘头为顺序式时, $c=0.3$, $d=0.15$, $e=1.4$ 。一种优选的实施例中,该采掘头截齿分布形式为棋盘式。

[0048] 基于本发明中主要是针对海底富钴结壳,因此,在正常情况下,已知钴结壳的抗压

强度最大为20MPa,基岩的抗压强度最大为80MPa,本数值仿真中取钴结壳的抗压强度为20MPa,基岩抗压强度为80MPa,可以通过模拟不同的截割采掘物厚度,对应仿真模拟来获得不同工况下的(参考)应变响应规律。

[0049] 同时,基于上述三个方向上的力的计算公式可以看出,采掘物越硬,截割的厚度越大,三个方向上的力数值越大,进而对采掘头动臂的作用力越大,进而结构的应变响应越大。也进一步体现了数值之间的正相关性,因此,对应获得的参考应变响应规律具有良好的可参照性。

[0050] 进一步地,为了使得获得的应变响应具有更好的比对性和可参照性,如前所述,这里的步骤S100和S200中获取的应变响应为采掘头动臂上关键区域的应变响应。进一步地,为了使得采集的应变响应规律针对性更强,更具参考性和比对性,这里可以将关键区域进一步限定为关键路径,更进一步地,可以为在至少一条路径上的应变响应(非某一点上的应变响应)。具体地,如图3和图4所示,为了使得比对结果更为可靠,这里选择采掘头动臂上的两条路径上的应变响应的变化规律,来识别当前采掘物质的属性。更为优选地,为了得到比对效果更为直观,差异性变化更为明显的应变响应规律,这里具体选择采掘头动臂上部区域和下部区域两个关键区域作为两条路径(如图3和图4所示,选择动臂中弯折部作为采集区域)。

[0051] 当然,这里的关键区域可以通过对采掘过程中的动臂上的各点的检测来选择变化差异明显的区域作为关键区域。一种更为优选的实施例中,为了更好地获得参考性强的参考应变响应规律,这里的关键路径的选择可以具体包括:

[0052] S101、建立采掘头的三维几何模型,并对得到的三维几何模型进行简化,除去小结构几何体,获得简化后的分析模型;

[0053] S102、对获得的简化后的分析模型进行有限元分析;

[0054] S103、根据路径选取实际布置传感器的优选位置,由于采掘过程中动臂路径上的应变响应最大,故选择动臂为优选位置;

[0055] S104、依据动臂上应变响应规律,将响应敏感位置作为路径的优选位置,进一步依据动臂形状及光纤传感器分布规律,选取多条路径作为备选路径,根据最终多条备选路径上的应变响应规律,最终选取动臂外边缘处的两条路径(记为路径一和路径二)作为优选路径,即为关键路径。

[0056] 作为本发明的一种优选方案,所述关键区域包括采掘头动臂的上部区域和下部区域。对应地,优选的实施例中,即为通过步骤S101-S104获得的分别位于采掘头的上部区域和下部区域的两条优选路径。当然,需要说明的是,这里的路径一和路径二为最为优选的两条优选路径。在本发明中,也不排除在采掘头动臂的上部区域和下部区域各自对应选取一条其它的路径来作为采掘头动臂关键区域的技术方案。

[0057] 以下通过具体工况下的实施例进行进一步阐述:

[0058] 采掘工况的选择。选择六种不同的采掘工况,具体如下表1所示;

[0059] 表1:

[0060]

工况编号	总厚度/mm	钴结壳厚度/mm	基岩厚度/mm
Case 1	60	60	0
Case 2	60	50	10

Case 3	60	40	20
Case 4	40	40	0
Case 5	20	20	0
Case 6	20	0	20

[0061] 构建采掘头的有限元模型。采掘头的具体参数如下：截齿材料：YG硬质合金，弹性模量：6E2GPa，泊松比：0.22，密度：14600kg/m³，除截齿外，其他部位材料：Q235，弹性模量：2.06E2GPa，泊松比：0.28，密度：7850kg/m³。边界条件为将动臂和采掘机连接处4个孔完全固支，采用ABAQUS软件进行模拟和计算。

[0062] 以编号为Case 1的工况为例，模拟获得采掘头的应变响应如图5所示，可以看出，主要应变响应集中在采掘头的动臂处；进一步地，提取出动臂上的应变响应如图6所示，可以看出，在动臂上部的弯折部和下部的弯折部（图中以箭头示出）的应变响应较大（即处于峰值），整个动臂的下部区域（设定为路径一）和上部区域（设定为路径二）整体呈现谷-峰-谷或峰-谷-峰的渐变线条。具体地，针对表1中六种服役工况分别模拟获得路径一和路径二的参考应变响应规律，其中，路径一如图7所示（自上而下顺次代表Case 3、Case 6、Case 2、Case 1、Case 4和Case 5），路径二如图8所示（自下而上顺次代表Case 3、Case 6、Case 2、Case 1、Case 4和Case 5）。

[0063] 综上可以看出，截割20mm基岩时同一位置的应变响应约是截割20mm钴结壳的应变响应的4倍，且含有基岩的应变响应与仅含有钴结壳的应变响应首端及尾端均各自趋近。基于此，针对其数值变化能够通过模拟获得不同工况下的对应数值，并根据路径一与路径二上的首端及尾端应变响应数值大小及整体变化趋势，比对获得待测工况的实际情况，有效识别采掘物质是否含有基岩，为后期采掘过程的智能控制提供重要依据并能够有效地调整采掘状态。

[0064] 虽然，上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述，但在本发明基础上，可以对之作一些修改或改进，这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此，在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进，均属于本发明要求保护的范围。

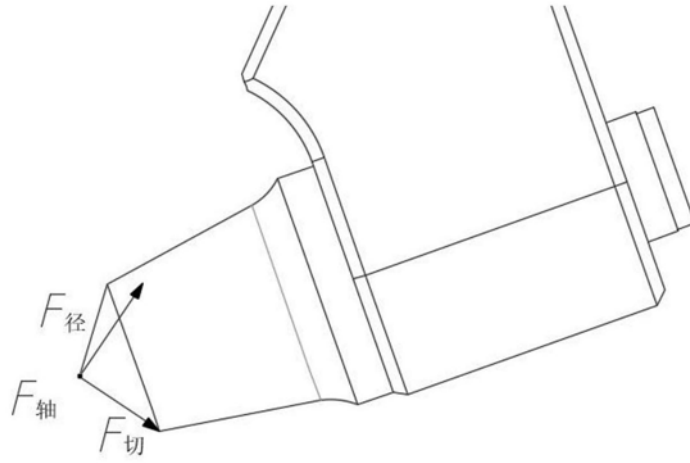


图1



图2

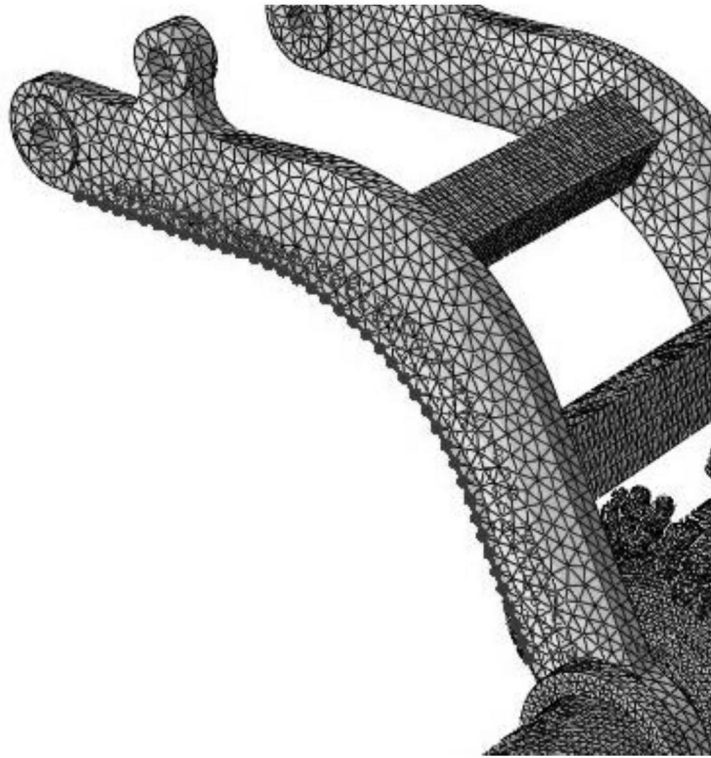


图3

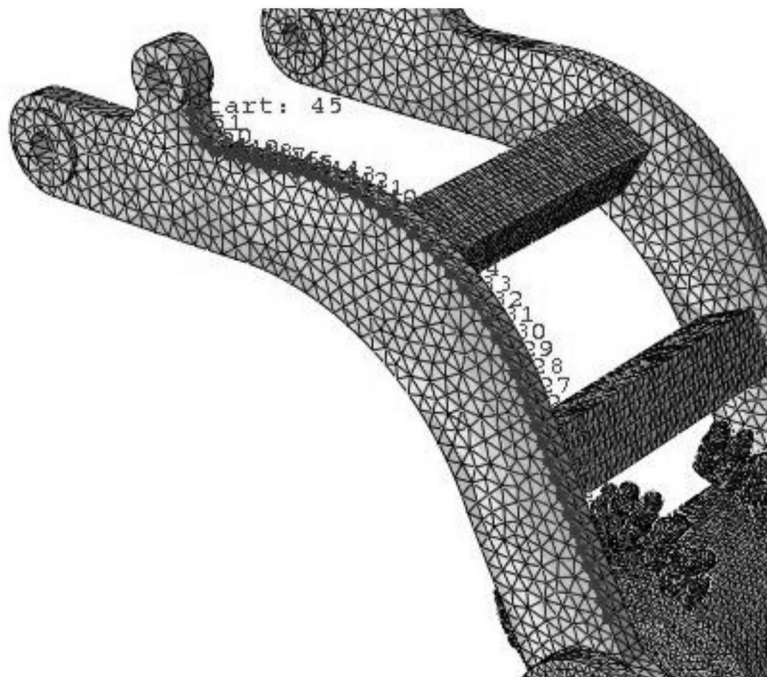


图4

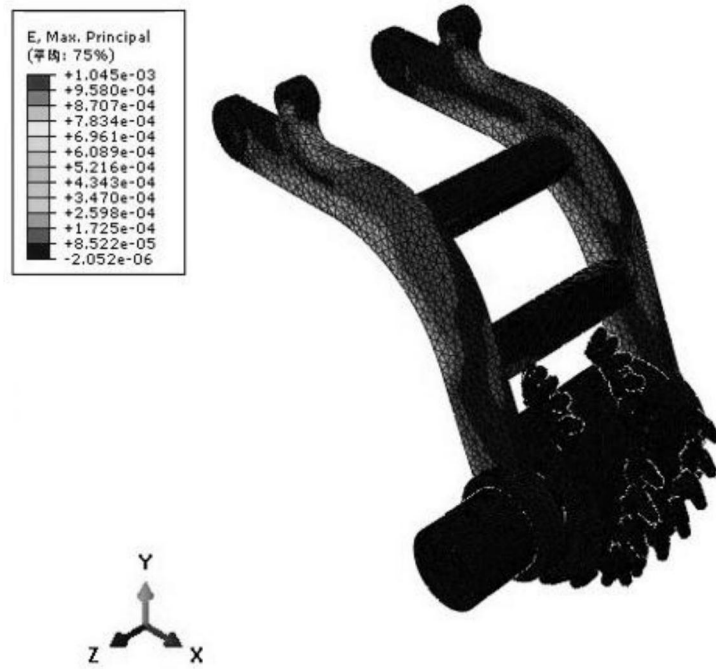


图5

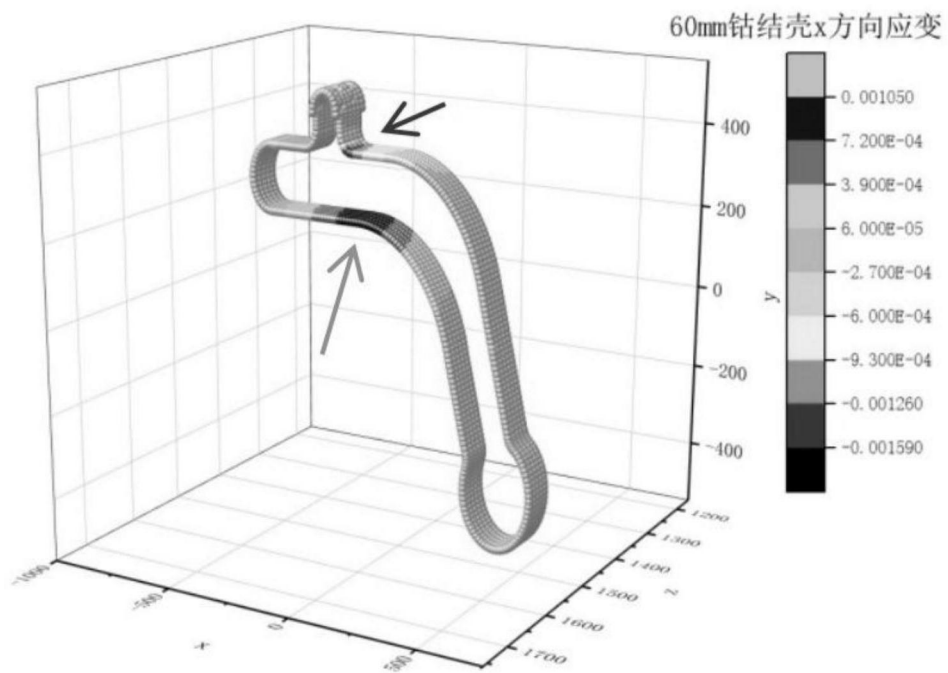


图6

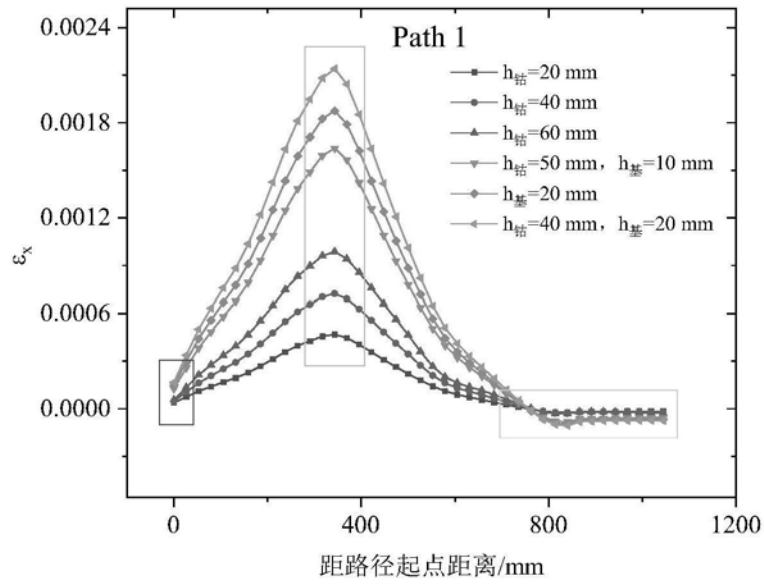


图7

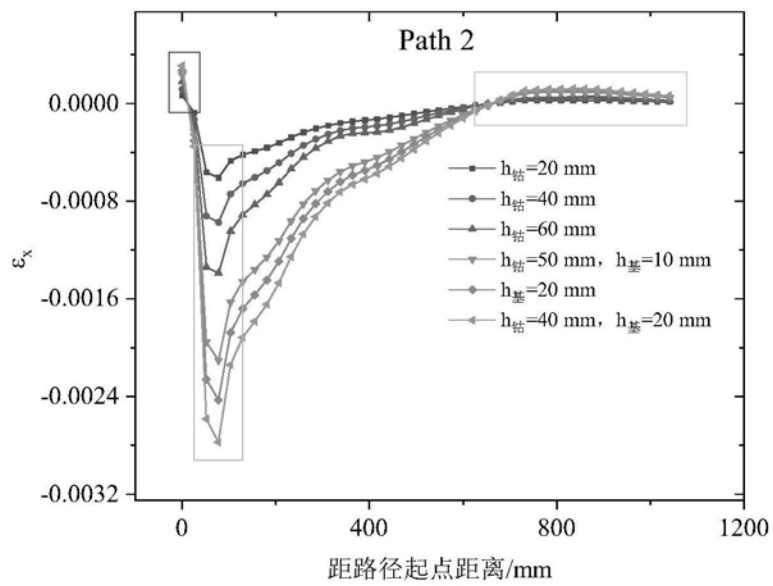


图8