



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108489413 A

(43)申请公布日 2018.09.04

(21)申请号 201810397379.2

(22)申请日 2018.04.28

(71)申请人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72)发明人 韦江雄 陈阳 余其俊

(74)专利代理机构 广州市华学知识产权代理有
限公司 44245

代理人 陈燕娴

(51) Int. Cl.

G01B 11/16(2006.01)

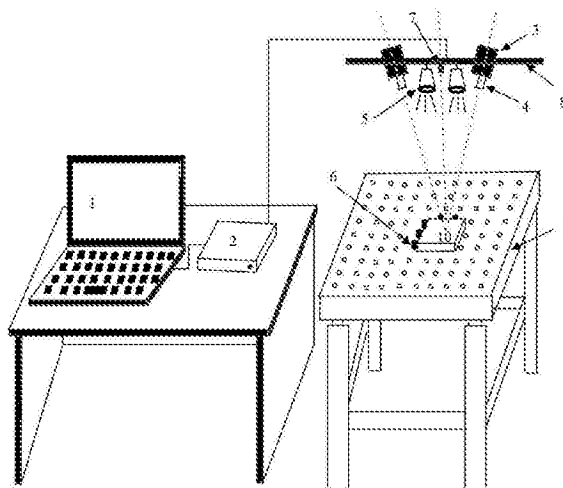
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种混凝土表面非均匀应变测量系统与方
法

(57)摘要

本发明涉及混凝土表面非均匀应变测量系统与方法。所述系统包括试样定位系统和三维数字图像采集系统和数字图像存储与计算系统。本发明使用双目、高分辨率工业相机实时采集变形前后混凝土表面散斑图,然后通过匹配工业相机采集的数字图像以及匹配变形前后的数字图像,得到混凝土表面变形的非均匀应变分布图。该系统能够高精度确定试样的位置,便于根据研究需要,调整测量区域,获得试样整体或局部的非均匀应变,并可实现样品的批量化测量。本发明测量混凝土表面非均匀应变具有非接触,空间分辨率高,精度高和全场测量等优点。此方法可以测量不同环境条件下,不同尺寸混凝土样品表面的非均匀应变。



1. 一种混凝土表面非均匀应变测量系统,其特征在于,所述系统包括试样定位系统和三维数字图像采集系统和数字图像存储与计算系统。

2. 根据权利要求1所述的混凝土表面非均匀应变测量系统,其特征在于,所述试样定位系统包括激光定位器、定位螺钉、样品台,根据所测量的混凝土样品变形区域来定位样品的初始位置和变形后的位置;所述三维数字图像采集系统包括镜头、工业相机、偏振镜、触发采集器、单色光源,所述工业相机包括左右双相机;所述偏振镜安装在镜头上,所述镜头安装在工业相机上,所述工业相机安装在立体支架上,所述数字图像存储与计算系统主要包括图形工作站和硬盘。

3. 根据权利要求2所述的混凝土表面非均匀应变测量系统,其特征在于,所述的工业相机是双目高分辨率工业相机,所述高分辨率是其像素400~500万。

4. 一种混凝土表面非均匀应变测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 三维数字图像采集系统的安装

工业相机包括左右双相机。根据目标测试的区域面积,确保测试的区域在左右双相机中完全成像,调整所述双相机的工作距离,双相机的角度为 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$,并将双相机安装在固定支架上,然后使用标定板对镜头和工业相机进行标定,获得其内参数和外参数,所述内参数是焦距和主点坐标和相机畸变系数,所述外参数是旋转矩阵和平移向量;

(2) 待测混凝土试样的处理

根据测试平面和样品台表面的距离来确定混凝土试样的厚度,切割混凝土,使其暴露骨料结构;在切割面一侧,先喷一层白色的哑光漆,3~5分钟后待白漆干燥,再随机制作黑色的散斑点,每个散斑的直径大小为5~7像素;

(3) 混凝土试样的定位

根据所需研究的试样区域,来调整样品台上试样的定位系统,获得试样的起始位置,并确保测试区域在工业相机中完全成像;

(4) 三维数字图像采集

根据测试条件来设定工业相机的拍照频率,并将采集的混凝土表面的立体数字图像传输并存储至硬盘中;在采集过程中,镜头和工业相机的位置不能移动;

(5) 位移计算系统

以左相机采集的变形前混凝土表面的散斑图为基准图像,选取目标区域,选取种子点,在变形后图像中,用相关系数C评价不同位置处的图像子区与变形前的子区的相似度,所述的相关系数C的阈值取值为0.95~1.0。

5. 根据权利要求4所述的混凝土表面非均匀应变测量方法,其特征在于,所述相关系数C的公式如下:

$$C = \sum_{y=-M}^M \sum_{x=-M}^M \left\{ \frac{f(x,y) - \bar{f}}{\sqrt{\sum_{y=-M}^M \sum_{x=-M}^M [f(x,y) - \bar{f}]^2}} - \frac{g(x',y') - \bar{g}}{\sqrt{\sum_{y=-M}^M \sum_{x=-M}^M [g(x',y') - \bar{g}]^2}} \right\}^2$$

式中,C为相关系数

(x,y)为像素坐标;M为图像子区半径;

f(x,y)为变形前图像在坐标(x,y)处的灰度值;

g(x',y')为变形后图像在坐标(x',y')处的灰度值。

6. 根据权利要求4所述的混凝土表面非均匀应变测量方法,其特征在于,对变形前后的图像计算区域内所有点进行相关匹配,获得各点空间位置,即可计算出计算区域的位移场,并用最小二乘法求解微分方程,计算混凝土表面最大主应变和混凝土表面最小主应变,得到应变场。

7. 根据权利要求4所述的混凝土表面非均匀应变测量方法,其特征在于,混凝土表面最大主应变为 $E_{\max} = \frac{E_{xx} + E_{yy}}{2} + \sqrt{\left(\frac{E_{xx} - E_{yy}}{2}\right)^2 + (E_{xy})^2}$, 混凝土表面最小主应变为 $E_{\min} = \frac{E_{xx} + E_{yy}}{2} - \sqrt{\left(\frac{E_{xx} - E_{yy}}{2}\right)^2 + (E_{xy})^2}$, 式中, E_{xx} 为x方向的应变; E_{yy} 为y方向的应变; E_{xy} 为剪切应变。

一种混凝土表面非均匀应变测量系统与方法

技术领域

[0001] 本发明属于混凝土材料变形检测技术领域,涉及一种混凝土表面非均匀应变测量系统与方法。

背景技术

[0002] 混凝土是土木工程中使用最多的建筑材料之一。研究混凝土的性能对于工程设计和改善提高其服役寿命具有重要的意义。而体积稳定性作为混凝土的重要性能,在服役期间会一直影响其使用寿命。混凝土自成型后就开始发生体积变化,其包括早期沉降收缩、水泥结构形成的自收缩、硬化过程中的干燥收缩、碳化收缩,干湿反复作用及温度变化引起的体积变化。这些体积变化统称为混凝土体积稳定性。混凝土体积变化若受到约束,就会开裂,从而影响混凝土的耐久性。80%以上的开裂都是由于混凝土变形所引起的,只有很小一部分是由于承载力不足大致。

[0003] 目前,测试混凝土体积变形的传统方法主要有传统的比长仪和应变片。由于这两种传统方法的空间分辨率较低,所以只能测试混凝土材料的整体变形量。而且,环境的变化会影响应变片测试方法的精度。

[0004] 实际上,在细观尺度下,混凝土是一种多相的复合材料包括骨料相和浆体相。当环境中的温湿度发生变化时,骨料相和浆体相,都会产生体积变形。由于两相的性能有明显的差别,导致其收缩性能存在较大的差异。因此,研究细观尺度下混凝土中非均匀的收缩应变对研究混凝土体积稳定性具有重要的指导意义。

发明内容

[0005] 本发明目的是提供一种混凝土表面非均匀应变测量系统与方法。

[0006] 为实现上述目的,本发明的技术方案如下:

[0007] 一种混凝土表面非均匀应变测量系统,所述系统包括试样定位系统和三维数字图像采集系统和数字图像存储与计算系统。

[0008] 优选的,所述试样定位系统包括激光定位器、定位螺钉、样品台,根据所测量的混凝土样品变形区域来定位样品的初始位置和变形后的位置;所述三维数字图像采集系统包括镜头、工业相机、偏振镜、触发采集器、单色光源,所述工业相机包括左右双相机;所述偏振镜安装在镜头上,所述镜头安装在工业相机上,所述工业相机安装在立体支架上,所述数字图像存储与计算系统主要包括图形工作站和硬盘。

[0009] 优选的,所述的工业相机是双目高分辨率工业相机,所述高分辨率是其像素400~500万。

[0010] 一种混凝土表面非均匀应变测量方法,包括以下步骤:

[0011] (1) 三维数字图像采集系统的安装

[0012] 工业相机包括左右双相机。根据目标测试的区域面积,确保测试的区域在左右双相机中完全成像,调整所述双相机的工作距离,双相机的角度为 30° ~ 60° ,并将双相机安装

在固定支架上,然后使用标定板对镜头和工业相机进行标定,获得其内参数和外参数,所述内参数是焦距和主点坐标和相机畸变系数,所述外参数是旋转矩阵和平移向量;

[0013] (2) 待测混凝土试样的处理

[0014] 根据测试平面和样品台表面的距离来确定混凝土试样的厚度,切割混凝土,使其暴露骨料结构;在切割面一侧,先喷一层白色的哑光漆,3~5分钟后待白漆干燥,再随机制作黑色的散斑点,每个散斑的直径大小为5~7像素;

[0015] (3) 混凝土试样的定位

[0016] 根据所需研究的试样区域,来调整样品台上试样的定位系统,获得试样的起始位置,并确保测试区域在工业相机中完全成像;

[0017] (4) 三维数字图像采集

[0018] 根据测试条件来设定工业相机的拍照频率,并将采集的混凝土表面的立体数字图像传输并存储至硬盘中;在采集过程中,镜头和工业相机的位置不能移动;

[0019] (5) 位移计算系统

[0020] 以左相机采集的变形前混凝土表面的散斑图为基准图像,选取目标区域,选取种子点,在变形后图像中,用相关系数C评价不同位置处的图像子区与变形前的子区的相似度,所述的相关系数C的阈值取值为0.95~1.0。

[0021] 优选的,所述相关系数C的公式如下:

$$[0022] \quad C = \sum_{y=-M}^M \sum_{x=-M}^M \left\{ \frac{f(x,y) - \bar{f}}{\sqrt{\sum_{y=-M}^M \sum_{x=-M}^M [f(x,y) - \bar{f}]^2}} - \frac{g(x',y') - \bar{g}}{\sqrt{\sum_{y=-M}^M \sum_{x=-M}^M [g(x',y') - \bar{g}]^2}} \right\}^2$$

[0023] 式中,C为相关系数

[0024] (x,y)为像素坐标;M为图像子区半径;

[0025] f(x,y)为变形前图像在坐标(x,y)处的灰度值;

[0026] g(x',y')为变形后图像在坐标(x',y')处的灰度值。

[0027] 优选的,对变形前后的图像计算区域内所有点进行相关匹配,获得各点空间位置,即可计算出计算区域的位移场,并用最小二乘法求解微分方程,计算混凝土表面最大主应变和混凝土表面最小主应变,得到应变场。

[0028] 优选的,混凝土表面最大主应变为 $E_{\max} = \frac{E_{xx} + E_{yy}}{2} + \sqrt{\left(\frac{E_{xx} - E_{yy}}{2}\right)^2 + (E_{xy})^2}$,混凝土表面最小主应变为 $E_{\min} = \frac{E_{xx} + E_{yy}}{2} - \sqrt{\left(\frac{E_{xx} - E_{yy}}{2}\right)^2 + (E_{xy})^2}$,式中, E_{xx} 为x方向的应变; E_{yy} 为y方向的应变; E_{xy} 为剪切应变。

[0029] 本发明的有益效果如下:

[0030] (1) 本发明提高了测试方法的空间分辨率,降低的测试方法对试样尺寸效应的影响。而且,降低了环境因素对测试方法的影响。可以根据所需获取的应变场分析整体和局部不均匀变形。

[0031] (2) 本发明降低环境因素对测试方法的影响。可以适用于在不同温湿度环境下混凝土表面的整体和局部变形的测量。

[0032] (3) 本发明利用定位系统来定位测试样品的位置,批量化测量,且应变测量精度达到 10^{-4} ,对评价混凝土的整体和局部非均匀变形提供科学的依据。

[0033] 本发明的原理如下：

[0034] 该方法由于其高空间分辨率，因此可以测量出细观尺度下，混凝土中非均匀收缩应变及其分布。使用镜头和工业相机采集变形前后混凝土的表面图像，通过对数字图像进行立体匹配和时序匹配，全场搜索变形前后相识度最高的相关标识点，获得其空间坐标位置。计算混凝土表面标记点变形前后的位移和应变，获得混凝土表面变形的应变场。

附图说明

[0035] 图1为混凝土表面整体局部散斑图。

[0036] 图2为混凝土表面非均匀应变测量系统示意图，图中1为图形工作站，装有计算和分析软件，分析应变；2为触发采集器，智能化控制图像采集；3为高分辨率工业相机；4为镜头；5为单色光源；6为试样定位螺钉；7为激光定位器；8为立式支架；9为样品台；10为测试样品。

[0037] 图3为原始混凝土切割面和混凝土表面最大主应变分布图，其中(a)是原始混凝土切割面，(b)是干燥1天的混凝土表面最大主应变分布图，(c)是干燥3天的混凝土表面最大主应变分布图，(d)是干燥7天的混凝土表面最大主应变分布图，(e)是干燥14天的混凝土表面最大主应变分布图，(f)是干燥28天的混凝土表面最大主应变分布图。

[0038] 图4为原始混凝土切割面和混凝土表面最小主应变分布图，其中(a)是原始混凝土切割面，(b)是干燥1天的混凝土表面最小主应变分布图，(c)是干燥3天的混凝土表面最小主应变分布图，(d)是干燥7天的混凝土表面最小主应变分布图，(e)是干燥14天的混凝土表面最小主应变分布图，(f)是干燥28天的混凝土表面最小主应变分布图。

具体实施方式

[0039] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步的说明。

[0040] 在混凝土的服役过程中，环境的温湿度变化是导致混凝土收缩变形的重要因素。由于混凝土细观结构是非均匀的，使得混凝土中的变形的分布也是非均匀的。采用本发明可以测试表征混凝土的表面非均匀收缩应变。

[0041] 混凝土的配合质量比为1:0.4:0.81:1.63，依次为水泥、水、细骨料和粗骨料。水泥采用广东珠江水泥厂PII42.5级水泥；细骨料为机制砂，细度模数为2.70；粗骨料是破碎的花岗岩，5-20mm连续级配；水为广州自来水。混凝土28天抗压强度为44.8MPa。混凝土试件尺寸为100mm×100mm×100mm，试件成型一天后，拆模，并在饱和石灰水中养护28天。用精密切割机切割试件，切割为尺寸为100mm×100mm×10mm的混凝土试样，这样混凝土试样裸露出骨料结构。测试完后将待测混凝土试样置于恒温恒湿箱(RH 40%，20℃)中。

[0042] 实施例1

[0043] 如图2所示，一种研究混凝土表面非均匀应变的测量系统，包括试样定位系统和三维数字图像采集系统和数字图像存储与计算系统。

[0044] 所述试样定位系统包括激光定位器、定位螺钉、样品台，根据所测量的混凝土试样变形区域来定位样品的初始位置和变形后的位置；所述三维数字图像采集系统包括镜头、工业相机、偏振镜、触发采集器、单色光源，所述工业相机包括左右双相机；所述偏振镜安装在镜头上，所述镜头安装在工业相机上，所述工业相机安装在立体支架上，所述数字图像存

储与计算系统主要包括安装有PMLAB软件图形工作站和硬盘。通过控制线与触发采集器和图形工作站相连接。

[0045] 一种混凝土表面非均匀应变测量方法,所述方法包括以下步骤:

[0046] 1. 首先将混凝土样品置于样品台上,通过定位装置来调整样品的位置,确定样品的最终位置。打开单色光源,使光线均匀照射在样品表面。根据目标测试的区域面积,确保测试的区域在左右双相机中完全成像,调整所述双相机的工作距离,双相机的角度为 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$,并将双相机安装在固定支架上。保持相机不动。

[0047] 2. 取出混凝土样品,使用点阵标定板对镜头和相机进行标定,获得其内参数和外参数。在标定中,任意 360° 旋转标定板,通过相机至少采集10对标定板的数字图像,然后标定计算出相机的内外参数,所述内参数是焦距和主点坐标和相机畸变系数,所述外参数是旋转矩阵和平移向量。

[0048] 3. 根据测试平面和样品台表面的距离来确定混凝土试样的厚度。试样表面需要喷制哑光漆来获得散斑图。将试样处于饱和面干状态。为了提高散斑的对比度,在切割面上喷制一层薄薄地白色哑光漆,3-5分钟后待白漆干燥后。再对着混凝土表面随机配制黑色哑光漆,得到黑色散斑。散斑的尺寸为5-7像素。处理后的混凝土表面散斑图如图1所示。

[0049] 4. 根据所需研究的试样区域,来调整样品台上试样的定位系统,获得试样的起始位置,使得所需要测试的区域处在双相机视场内。

[0050] 5. 根据测试条件来设定相机的拍照频率,并将采集的混凝土表面的立体数字图像传输并存储至硬盘中;在采集过程中,镜头和相机的位置不能移动。

[0051] 6. 以左相机采集的变形前混凝土表面的散斑图为基准图像,选取目标区域,选取种子点,在变形后图像中,用相关系数C评价不同位置处的图像子区与变形前的子区的相似度,所述的相关系数C的阈值取值为 $0.95 \sim 1.0$ 。

[0052] 所述相关系数C的公式如下:

$$[0053] \quad C = \frac{\sum_{y=-M}^M \sum_{x=-M}^M \{ \frac{f(x,y) - \bar{f}}{\sqrt{\sum_{y=-M}^M \sum_{x=-M}^M [f(x,y) - \bar{f}]^2}} - \frac{g(x',y') - \bar{g}}{\sqrt{\sum_{y=-M}^M \sum_{x=-M}^M [g(x',y') - \bar{g}]^2}} \}^2}{2}$$

[0054] 式中,C为相关系数

[0055] (x, y) 为像素坐标;M为图像子区半径;

[0056] $f(x, y)$ 为变形前图像在坐标 (x, y) 处的灰度值;

[0057] $g(x', y')$ 为变形后图像在坐标 (x', y') 处的灰度值。

[0058] 对变形前后的图像计算区域内所有点进行相关匹配,获得各点空间位置,即可计算出计算区域的位移场,并用最小二乘法求解微分方程,计算混凝土表面收缩最大主应变和最小主应变,得到应变场。

[0059] 混凝土表面最大主应变为 $E_{\max} = \frac{E_{xx} + E_{yy}}{2} + \sqrt{(\frac{E_{xx} - E_{yy}}{2})^2 + (E_{xy})^2}$, 最小主应变为 $E_{\min} = \frac{E_{xx} + E_{yy}}{2} - \sqrt{(\frac{E_{xx} - E_{yy}}{2})^2 + (E_{xy})^2}$, 式中, E_{xx} 为x方向的应变; E_{yy} 为Y方向的应变; E_{xy} 为剪切应变。

[0060] 图3(a)为原始混凝土切割面图。图3(b)-(f)为干燥1~28天的混凝土切割面的表面最大主应变分布图。混凝土中存在收缩应变,相对应于收缩,混凝土中也会存在相应的拉

伸应变。因此,混凝土最大主应变场中,会分布着压缩应变(收缩应变)和拉伸应变,而且呈现非均匀分布。

[0061] 图4(a)为原始混凝土切割面图。图4(b)-(f)为干燥1~28天的混凝土切割面的表面最小主应变分布图。最小主应变场中黑色区域与混凝土中骨料的位置一致。骨料的收缩应变分布比较均匀,为 $0\mu\epsilon$ 。由于骨料的收缩明显小于砂浆的收缩,最小主应变场也呈非均匀分布。

[0062] 本发明的实施方式不限于此,按照本发明的上述内容,利用本领域的普通技术知识和惯用手段,在不脱离本发明上述基本技术思想前提下,本发明还可以做出其它多种形式的修改、替换或变更,均落在本发明权利保护范围之内。

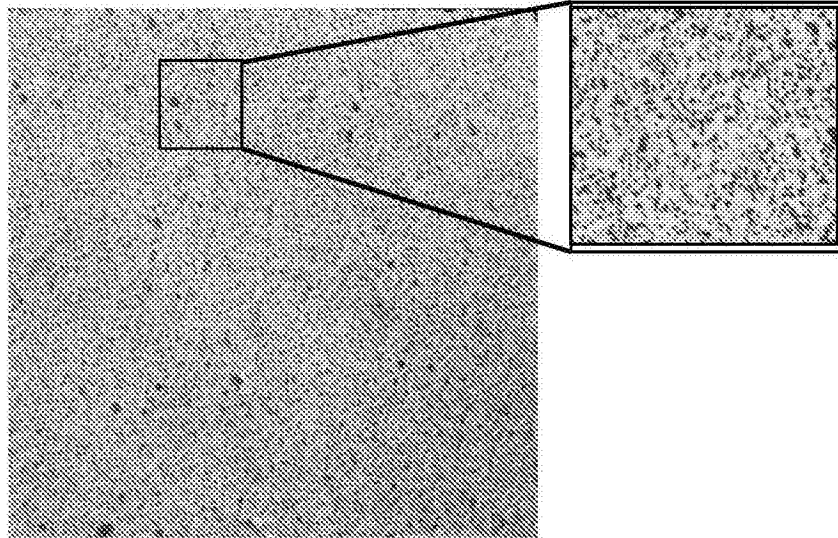


图1

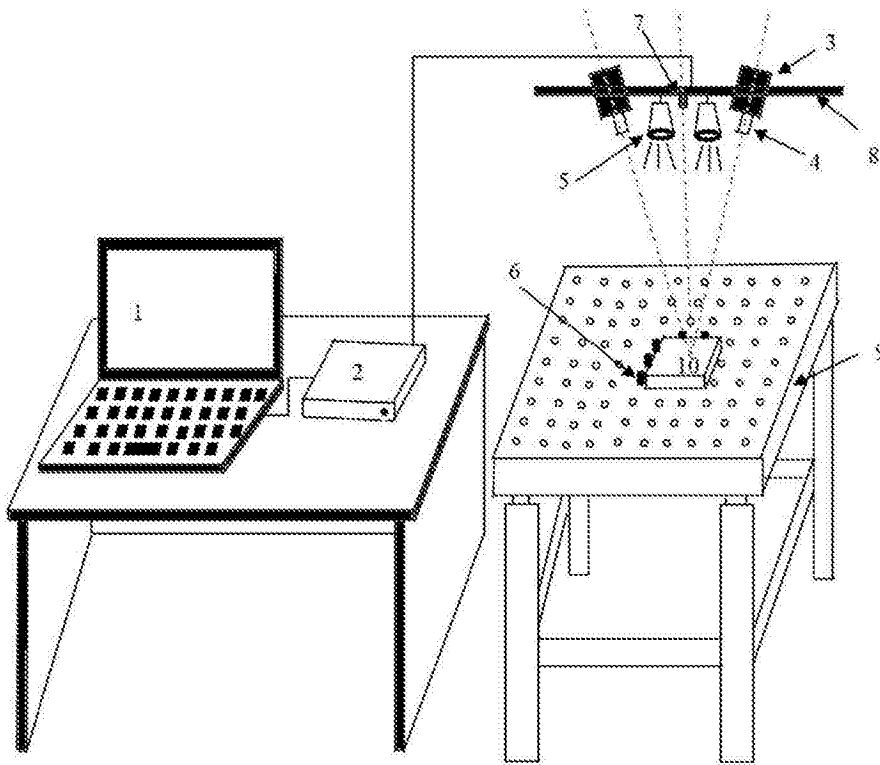


图2

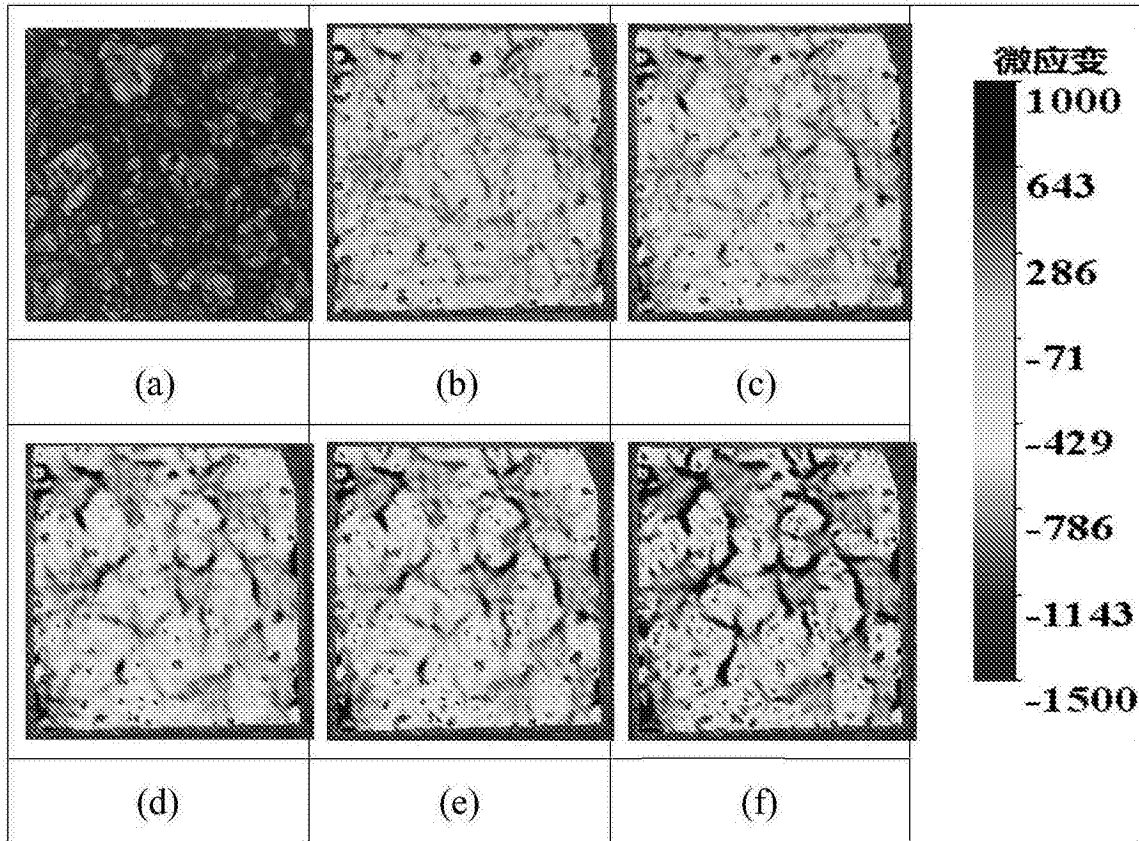


图3

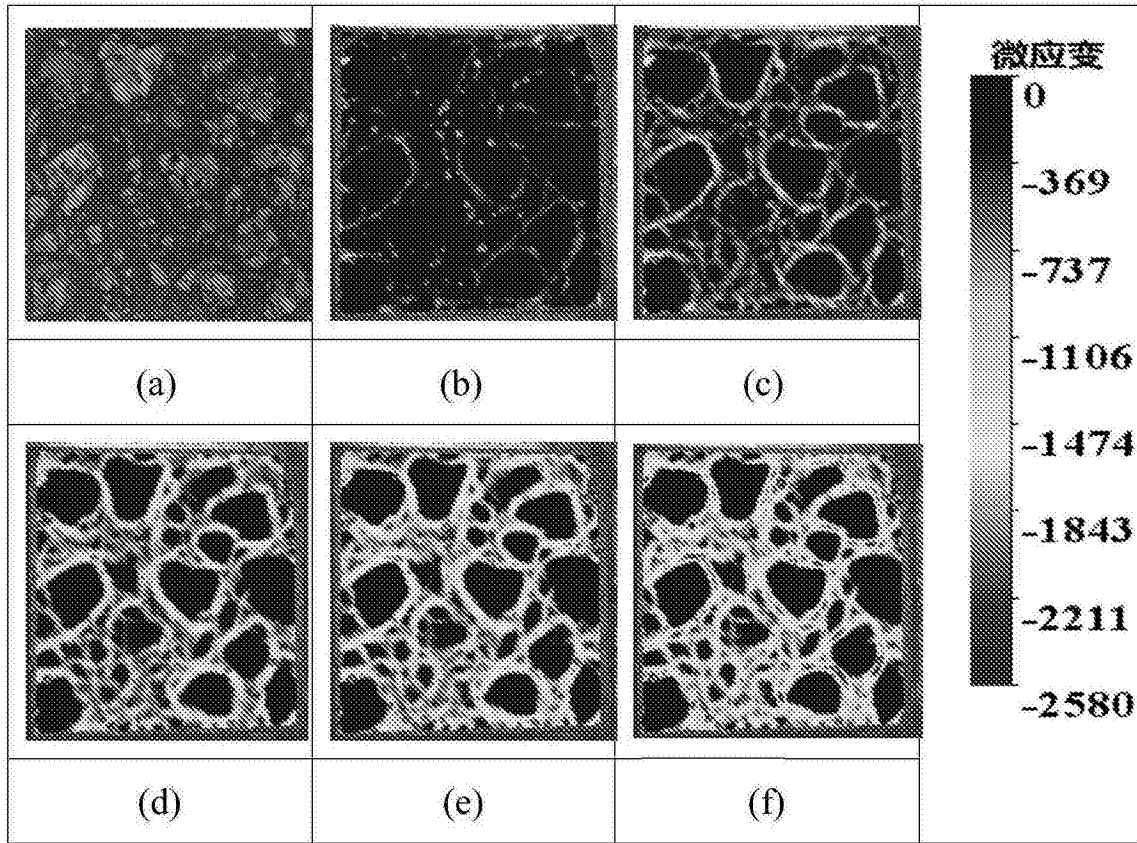


图4