



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113538383 B

(45) 授权公告日 2023. 07. 07

(21) 申请号 202110814459.5

G06T 17/05 (2011.01)

(22) 申请日 2021.07.19

G01B 11/24 (2006.01)

G01B 11/28 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113538383 A

(43) 申请公布日 2021.10.22

(73) 专利权人 长安大学

地址 710064 陕西省西安市南二环路中段

(72) 发明人 惠冰 张炎棣 马子业

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

专利代理师 李鹏威

(56) 对比文件

CN 107883891 A, 2018.04.06

US 2018276483 A1, 2018.09.27

秦红艳. 三维激光扫描技术检测测绘成果精度的应用. 测绘工程. 2018, (10), 全文.

Rongbang Li .et al.Road Damage Evaluation via Stereo Camera and Deep Learning Neural Network.《2021 IEEE Aerospace Conference 》.2021,全文.

审查员 武婷婷

(51) Int. Cl.

G06T 7/00 (2017.01)

G06T 7/62 (2017.01)

G06T 5/00 (2006.01)

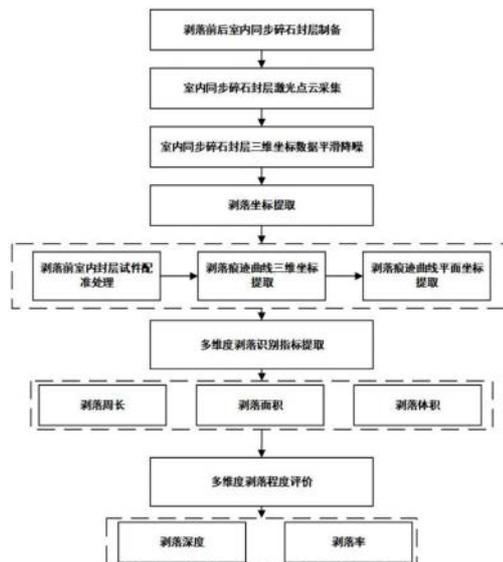
权利要求书3页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,采用三维激光检测技术获取同步碎石封层剥落前后的高程数据,基于matlab编译环境构建封层试件三维重构模型,能够真实的反映封层表面纹理状况,通过对比剥落前后重构模型,能够准确的定位剥落点位坐标,并对剥落痕迹曲线进行绘制,从而实现封层剥落多维度指标得到计算,为准确评价碎石封层剥落位置、剥落严重程度提供可靠依据,为路面破损检测提供新型的思路,为沥青路面使用性能的评价,行车安全分析以及路面养护时机的选择提供了重要基础。



1. 一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:制备室内同步碎石封层试件,并用扫刷试验进行剥落处理,在对剥落前后室内同步碎石封层试件固定配准基础上,对室内同步碎石封层试件剥落后的表面纹理进行扫描,获取原始三维激光点云的三维坐标数据;

步骤2:基于matlab编译环境,采用低通滤波和小波基滤波对剥落前后原始三维激光点云三维坐标数据进行平滑降噪处理,截取室内同步碎石封层试件中央正方形区域的三维点云三维坐标数据作为试验数据;

其中,基于matlab编译环境,具体平滑降噪步骤为:

a) 采用smooth函数对剥落前后室内同步碎石封层三维点云三维坐标数据进行平滑,并修复高程缺失点;

b) 通过计算室内同步碎石封层试件直径长度和读取高程数据行列数的比例关系,确定高程数据中表示室内同步碎石封层试件100mm\*100mm中央方形区域的行列位置;

c) 采用wden函数对截取的中央方形区域高程数据进行二次滤波,实现小区域的精细纹理特征保留,获取平滑降噪后的中央方形区域剥落前后室内同步碎石封层激光点云三维坐标;

步骤3:基于matlab编译环境,提取剥落前后室内同步碎石封层中央方形区域三维点云三维坐标数据,求取中央方形区域剥落前三维激光点云三维坐标与剥落后三维激光点云三维坐标各点位高程坐标差值,以获取高程变化明显区域的平面坐标与高程差值坐标,记为三维差值坐标;采用数值为N的高程值对三维差值坐标进行等高线绘制,进而提取差值为N等高线对应的平面坐标,并依据单位集料面积对等高线平面坐标进行无效坐标剔除,该等高线平面坐标能够表征室内同步碎石封层试件剥落区域与剥落区域的边界线,即为剥落痕迹曲线平面坐标;

步骤4:依据方形区域剥落后室内同步碎石封层三维点云三维坐标数据,采用surf函数重构方形区域剥落后室内碎石封层三维模型,采用plot3函数将上述差值为N等高线平面坐标绘制于方形区域剥落后室内碎石封层三维重构模型中,而绘制出的空间闭合曲线即为剥落痕迹曲线,进而提取在方形区域剥落后室内碎石封层三维重构模型中等高线平面坐标对应的高程坐标;综上所述获取等高线平面坐标以及对应的高程坐标即实现剥落痕迹曲线三维坐标提取;

步骤5:分析剥落痕迹曲线的三维形态特征,并计算室内同步碎石封层多维度剥落指标;

步骤6:根据室内同步碎石封层多维度剥落指标,获取碎石封层剥落严重程度评价指标,进而分析粒料剥落原因。

2. 根据权利要求1所述的一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,其特征在于,步骤1室内同步碎石封层试件具体制备过程为:

a) 准备粒径为9.5-13.2mm的石灰岩石料,洗净烘干,加热至170℃备用;

b) 将SBS改性沥青在170℃的条件放置备用;

c) 裁剪直径为300mm圆形油毡纸,压平放置,加热至60℃备用;空心钢桶浸水备用;

d) 取出油毛毡,按照沥青最佳用量为1.35kg/m<sup>2</sup>将沥青均匀涂抹在油毡纸表面,即刻采用碎石撒布量为17kg/m<sup>2</sup>用水平推板撒布石料,并将碎石均匀撒布,撒布均匀后,用空心钢

桶滚动粗平,放置在轮碾仪上碾压4~5遍;

e) 在60℃下对采用步骤d)成型后的试件养生1h后,随后室内常温静放1d,室内同步碎石封层试件制备完成。

3. 根据权利要求2所述的一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,其特征在于,步骤1剥落处理具体为:

室内同步碎石封层试件制备完成后,将室内同步碎石封层试件在-15℃冷藏12h后,取出进行加速扫刷试验,实现对室内同步碎石封层试件的剥落处理。

4. 根据权利要求2所述的一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,其特征在于,步骤1中剥落前室内同步碎石封层试件固定配准处理的具体方法:

通过勾刻油毡纸外缘痕迹与地面刻印标记的方法,确定室内同步碎石封层试件正上与正左方向,对室内同步碎石封层试件进行固定配准。

5. 根据权利要求1所述的一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,其特征在于,步骤3中剥落痕迹曲线平面坐标获取的具体方法为:

a) 求取剥落前后室内同步碎石封层中央方形区域激光点云三维坐标中各点位高程坐标差值即  $\Delta Z = Z_{前} - Z_{后}$ ,获得高程变化明显区域的平面坐标X、Y与高程差值  $\Delta Z$ ,即为三维差值坐标,并将X、Y、 $\Delta Z$ 三维差值坐标存储于矩阵CZ中;

b) 考虑到室内三维激光扫描的系统误差,在非剥落区域的高程变化数据应小于0.5mm,而剥落区域的高程变化应大于0.5mm,因此采用contour函数提取  $\Delta Z = 0.5\text{mm}$ 高程差值进行等高线绘制,该等高线平面坐标表征室内同步碎石封层试件剥落区域与非剥落区域的边界线,从而实现剥落痕迹曲线清晰识别,通过contour函数确定各个剥落区域围成的闭合等高线的坐标记为  $(X_n, Y_n)_{原始}$ ,将每组闭合曲线坐标分别存储Cn,n为中央方形室内同步碎石封层剥落区域个数,以完成室内同步碎石封层中央方形区域剥落痕迹曲线平面坐标的确定;

具体表示为:

$$\Delta Z = Z_{前} - Z_{后};$$

$$(X_n, Y_n)_{原始} = \{(X, Y, \Delta Z) \in CZ \mid \Delta Z = 0.5\};$$

$$C_n = \{(X_1, Y_1); (X_2, Y_2) \cdots (X_n, Y_n)_{原始}\};$$

式中  $Z_{前}$  为剥落前的高程试验数据,  $Z_{后}$  为剥落后的高程试验数据, CZ 为存储三维差值坐标X、Y、 $\Delta Z$ 的矩阵,  $(X_n, Y_n)_{原始}$  为初步得到的剥落痕迹曲线平面坐标, Cn 为存储每个剥落区域剥落痕迹曲线坐标的矩阵。

6. 根据权利要求5所述的一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,其特征在于,步骤3中基于单位集料面积对等高线平面坐标进行无效坐标剔除具体方法为:

基于matlab编译环境,利用polyarea函数对剥落痕迹曲线平面坐标  $(X_n, Y_n)_{原始}$  围成的闭合区域面积进行计算,并设置阈值  $s_{粒}$ ,即单位粒料的平面面积,剔除掉小于  $s_{粒}$  的数组,从而实现有效剥落痕迹曲线平面坐标提取,具体表示为:

$$S_n = \text{polyarea}(X_n, Y_n)_{原始};$$

$$(X_n, Y_n) = \{(X_n, Y_n)_{原始} \in C_n \mid S_n > s_{粒}\};$$

式中  $S_n$  为各剥落区域平面面积,  $s_{粒}$  为单位粒料的平面面积,  $(X_n, Y_n)$  为经过阈值筛选后的剥落痕迹曲线平面坐标。

7. 根据权利要求5所述的一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,其特征在

于,步骤4剥落痕迹曲线三维坐标提取的具体方法为:

依据方形区域剥落后室内同步碎石封层三维点云三维坐标数据,采用surf函数重构方形区域剥落后室内碎石封层三维模型,采用plot3函数将0.5mm等高线平面坐标绘制于方形区域剥落后室内碎石封层三维重构模型中,利用find函数提取剥落后中央方形区域室内同步碎石封层模型中等高线平面坐标对应的高程坐标 $Z_n$ ,从而实现剥落痕迹曲线三维坐标提取,记为 $X_n$ 、 $Y_n$ 、 $Z_n$ 。

8.根据权利要求1所述的一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,其特征在于,步骤5中多维度剥落指标包括剥落面积 $S_n$ ,剥落体积 $V_n$ ,剥落周长 $L_n$ ;剥落面积指经剥落后形成各剥落痕迹曲线围成的平面轮廓面积;剥落体积指经剥落后形成剥落痕迹曲线围成的粒料缺失的总体积;剥落周长为剥落痕迹曲线的平面曲线长度。

9.根据权利要求8所述的一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,其特征在于,步骤5中所述剥落面积 $S_n$ 、剥落周长 $L_n$ 、剥落体积 $V_n$ ,基于matlab编译环境,计算方法如下:

剥落面积 $S_n$ :

$$S_n = \text{polyarea}(X_n, Y_n);$$

$$S = \sum S_n;$$

$$S_{\text{相}} = S/S_1;$$

式中 $S$ 为剥落总面积, $S_n$ 为表示各剥落区域的剥落面积, $S_1$ 为扫描核心正方形区域面积, $S_{\text{相}}$ 为剥落区域占扫描区域的面积比,用于评价平面剥落程度;

剥落体积 $V_n$ :

$$V_{\text{单}} = \Delta z \times S_{\text{单}};$$

$$V_n = \sum V_{\text{单}} = S_{\text{单}} \times \sum \Delta z;$$

$$V = \sum V_n;$$

$$K = V/S;$$

式中 $V$ 指剥落总体积, $S_{\text{单}}$ 是指基于激光横纵间距将剥落平面区域划分成若干单元,每一个单元的面积 $0.55\text{mm} \times 0.25\text{mm}$ ,记为 $S_{\text{单}}$ , $\Delta z$ 为每个剥落区域剥落边缘的各点位剥落前后高程差值, $V_{\text{单}}$ 指每个单元长方体体积, $K$ 为剥落深度用于评价剖面剥落程度,是剥落总体积与剥落总面积的比值;

剥落周长 $L_n$ :

$$l_n = \sqrt{(X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2};$$

$$L_n = \sum l_n;$$

式中 $l_n$ 为每个剥落区域形成剥落痕迹曲线各坐标点之间的距离, $L_n$ 为剥落痕迹曲线的周长。

## 一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及路面病害检测领域,具体涉及一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法。

### 背景技术

[0002] 同步碎石封层作为干线大中修养护计划中主要的预防性养护技术,能够恢复路面平整度,提升面层的抗滑能力,以保证行车安全。然而,在极端温度应力以及重载车辆荷载作用下,轮迹带处的封层粒料极易出现脱落,从而破坏集料嵌挤持力状态,引发传力破坏连锁效应,使得粒料沿轮迹带连片脱落,致使路面抗滑性能衰减。因此,科学,精准,高效的同步碎石封层粒料脱落状况检测,是封层脱落病害养护处治方案决策和确定最佳养护时机的重要基础,对同步碎石封层处治性能比选,处治后路面抗滑性能演化以及碎石封层处治寿命预测等研究具有重要意义。

[0003] 目前,对于同步碎石封层剥落病害还没有较为成熟的方法进行识别,主要采用人工现场调查的方法对加铺的碎石封层剥落区域进行量测,效率低,精度差,不能准确的获取封层剥落程度信息。同时,相关评价指标主要采用粒料质量损失、即脱石率来评价碎石封层剥落的严重程度,仅能反映沥青与粒料之间的黏附程度,并不能反映同步碎石封层剥落的点位、表面纹理结构以及构造深度。因此,利用脱石率对碎石封层剥落程度进行描述具有很大的局限性,无法从外形破损的角度反映封层剥落的真实状况,不能科学、准确、详细的为道路养护决策提供合理的依据。

[0004] 综上所述,传统的同步碎石封层剥落识别与评价方法不能详细,准确的反映封层剥落信息。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,以解决现有同步碎石封层剥落识别方法不足,采用质量损失评价剥落程度过于单一的问题。本发明能够对碎石封层剥落区域进行识别,并提出多维度指标对碎石封层剥落特征进行描述,以期详细,准确,直观的评价碎石封层剥落程度。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1:制备室内同步碎石封层试件,并用扫刷试验进行剥落处理,在对剥落前后室内同步碎石封层试件固定配准基础上,对室内同步碎石封层试件剥落后的表面纹理进行扫描,获取原始三维激光点云的三维坐标数据;

[0009] 步骤2:基于matlab编译环境,采用低通滤波和小波基滤波对剥落前后原始三维激光点云三维坐标数据进行平滑降噪处理,截取室内同步碎石封层试件中央正方形区域的三维点云三维坐标数据作为试验数据;

[0010] 步骤3:基于matlab编译环境,提取剥落前后室内同步碎石封层中央方形区域三维

点云三维坐标数据,求取中央方形区域剥落前三维激光点云三维坐标与剥落后三维激光点云三维坐标各点位高程坐标差值,以获取高程变化明显区域的平面坐标与高程差值坐标,记为三维差值坐标;采用数值为 $N(N=0.5\text{mm})$ 的高程值对三维差值坐标进行等高线绘制,进而提取差值为 $N(N=0.5\text{mm})$ 等高线对应的平面坐标,并依据单位集料面积对等高线平面坐标进行无效坐标剔除,该等高线平面坐标可表征室内同步碎石封层试件剥落区域与剥落区域的边界线,即为剥落痕迹曲线平面坐标;

[0011] 步骤4:依据方形区域剥落后室内同步碎石封层三维点云三维坐标数据,采用surf函数重构方形区域剥落后室内碎石封层三维模型,采用plot3函数将上述差值为 $N(N=0.5\text{mm})$ 等高线平面坐标绘制于方形区域剥落后室内碎石封层三维重构模型中,而绘制出的空间闭合曲线即为剥落痕迹曲线,进而提取在方形区域剥落后室内碎石封层三维重构模型中等高线平面坐标对应的高程坐标;综上所述所获取等高线平面坐标以及对应的高程坐标即实现剥落痕迹曲线三维坐标提取;

[0012] 步骤5:分析剥落痕迹曲线的三维形态特征,并计算室内同步碎石封层多维度剥落指标;

[0013] 步骤6:根据剥落痕迹曲线计算室内同步碎石封层多维度剥落指标,获取碎石封层剥落严重程度评价指标,进而分析粒料剥落原因。

[0014] 进一步地,步骤1室内同步碎石封层试件具体制备过程为:

[0015] a) 准备粒径为9.5-13.2mm的石灰岩石料,洗净烘干,加热至 $170^{\circ}\text{C}$ 备用;

[0016] b) 将SBS改性沥青在 $170^{\circ}\text{C}$ 的条件放置备用;

[0017] c) 裁剪直径为 $d=300\text{mm}$ 圆形油毡纸,压平放置,加热至 $60^{\circ}\text{C}$ 备用;空心钢桶浸水备用;

[0018] d) 取出油毡纸,采用碎石撒布量为 $17\text{kg}/\text{m}^2$ ,沥青最佳用量为 $1.35\text{kg}/\text{m}^2$ ,将沥青均匀涂抹在油毡纸表面,即刻用水平推板撒布石料,并将碎石均匀撒布,撒布均匀后,用空心钢桶滚动粗平,放置在轮碾仪上碾压4~5遍;

[0019] e) 在 $60^{\circ}\text{C}$ 下对采用d)步骤成型后好试件养生1h后,随后室内常温静放1d,室内同步碎石封层试件制备完成。

[0020] 进一步地,步骤1室内同步碎石封层试件剥落处理方法为:

[0021] 室内同步碎石封层试件制备完成后,将室内同步碎石封层试件在 $-15^{\circ}\text{C}$ 冷藏12h后,取出进行加速扫刷试验,实现对室内同步碎石封层试件的剥落处理。

[0022] 进一步地,步骤1剥落前后室内同步碎石封层试件固定配准处理的具体方法为:

[0023] 通过勾刻油毡纸外缘痕迹与地面刻印标记的方法,确定室内同步碎石封层试件正上与正左方向,对室内同步碎石封层试件进行固定配准。

[0024] 进一步地,步骤2中基于matlab编译环境具体平滑降噪步骤为:

[0025] a) 采用smooth函数对剥落前后室内同步碎石封层三维点云三维坐标数据进行平滑,并修复高程缺失点;

[0026] b) 通过计算室内同步碎石封层试件直径长度和读取高程数据行列数的比例关系,确定高程数据中表示室内同步碎石封层试件 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 中央方形区域的行列位置;

[0027] c) 采用wden函数对截取的中央方形区域高程数据进行二次滤波,实现小区域的精细纹理特征保留,实现平滑降噪后的中央方形区域剥落前后室内同步碎石封层激光点云三

维坐标获取。

[0028] 进一步地,步骤3中剥落痕迹曲线平面坐标获取的具体方法为:

[0029] a) 求取剥落前后室内同步碎石封层中央方形区域激光点云三维坐标中各点位高程坐标差值即  $\Delta Z = Z_{前} - Z_{后}$ , 获得高程变化明显区域的平面坐标X、Y与高程差值  $\Delta Z$ , 即为三维差值坐标存储于矩阵CZ中;

[0030] b) 考虑到室内三维激光扫描的系统误差,在非剥落区域的高程变化数据应小于0.5mm,而剥落区域的高程变化应大于0.5mm,因此采用contour函数提取  $\Delta Z = 0.5\text{mm}$  高程差值进行等高线绘制,该等高线平面坐标可表征室内同步碎石封层试件剥落区域与非剥落区域的边界线,从而实现剥落痕迹曲线清晰识别。通过contour函数确定各个剥落区域围成的闭合等高线的坐标记为  $(X_n, Y_n)_{原始}$ , 将每组闭合曲线坐标分别存储Cn, n为中央方形室内同步碎石封层剥落区域个数,以完成室内同步碎石封层中央方形区域剥落痕迹曲线平面坐标的确定;式中  $Z_{前}$  为剥落前的高程试验数据,  $Z_{后}$  为剥落后的高程试验数据, CZ为存储三维差值坐标X、Y、 $\Delta Z$  的矩阵,  $(X_n, Y_n)_{原始}$  为初步得到的剥落痕迹曲线平面坐标, Cn为存储每个剥落区域剥落痕迹曲线坐标的矩阵。

[0031] 具体表示为:

[0032]  $\Delta Z = Z_{前} - Z_{后}$ ;

[0033]  $(X_n, Y_n)_{原始} = \{(X, Y, \Delta Z) \in CZ \mid \Delta Z = 0.5\}$ ;

[0034]  $C_n = \{(X_1, Y_1); (X_2, Y_2) \cdots (X_n, Y_n)_{原始}\}$ ;

[0035] 进一步地,步骤3中基于单位集料面积对等高线平面坐标进行无效坐标剔除具体方法为:

[0036] 基于matlab编译环境,利用polyarea函数对剥落痕迹曲线平面坐标  $(X_n, Y_n)_{原始}$  围成的闭合区域面积进行计算,并设置阈值  $s_{粒}$ , 即单位粒料的平面面积,剔除掉小于  $s_{粒}$  的数组,从而实现对有效剥落痕迹曲线平面坐标提取,式中  $S_n$  为各剥落区域平面面积,  $s_{粒}$  为单位粒料的平面面积,  $(X_n, Y_n)$  为经过阈值筛选后的剥落痕迹曲线平面坐标,具体表示为:

[0037]  $S_n = \text{polyarea}(X_n, Y_n)_{原始}$ ;

[0038]  $(X_n, Y_n) = \{(X_n, Y_n)_{原始} \in C_n \mid S_n > s_{粒}\}$ ;

[0039] 进一步地,步骤4剥落痕迹曲线三维坐标提取的具体方法为:

[0040] 依据方形区域剥落后室内同步碎石封层三维点云三维坐标数据,采用surf函数重构方形区域剥落后室内碎石封层三维模型,采用plot3函数将上述0.5mm等高线平面坐标绘制于方形区域剥落后室内碎石封层三维重构模型中,利用find函数提取剥落后中央方形区域室内同步碎石封层模型中等高线平面坐标对应的高程坐标  $Z_n$ , 从而实现剥落痕迹曲线三维坐标提取,记为  $X_n, Y_n, Z_n$ 。

[0041] 进一步地,步骤5中多维度剥落指标包括剥落面积,剥落体积,剥落周长;剥落面积指经剥落处理后形成各剥落痕迹曲线围成的平面轮廓面积;剥落体积指经剥落处理后形成剥落痕迹曲线围成的粒料缺失的总体积;剥落周长为剥落痕迹曲线的平面曲线长度。

[0042] 进一步地,多维度剥落指标为剥落面积  $S_n$ 、剥落周长  $L_n$ 、剥落总体积  $V$ , 基于matlab编译环境,各类指标计算方法如下:

[0043] 剥落面积  $S_n$ :

[0044]  $S_n = \text{polyarea}(X_n, Y_n)$ ;

[0045]  $S = \sum S_n$ ;

[0046]  $S_{\text{相}} = S/S_1$ ;

[0047] 式中S为剥落总面积,  $S_1$ 为中央方形区域面积,  $S_{\text{相}}$ 为剥落区域占中央方形区域的面积比即剥落率,用于评价平面剥落程度;

[0048] 剥落体积 $V_n$ ;

[0049]  $V_{\text{单}} = \Delta z \times S_{\text{单}}$ ;

[0050]  $V_n = \sum V_{\text{单}} = S_{\text{单}} \times \sum \Delta z$ ; (2)

[0051]  $V = \sum V_n$ ;

[0052]  $K = V/S$ ;

[0053] 式中V指剥落总体积,  $S_{\text{单}}$ 是指基于激光横纵间距将剥落平面区域划分成若干单元, 每一个单元的面积 $0.55\text{mm} \times 0.25\text{mm}$ 记为为 $S_{\text{单}}$ ,  $\Delta z$ 为每个剥落区域剥落边缘的各点位剥落前后高程差值,  $V_{\text{单}}$ 指每个单元长方体体积, K为剥落深度用于评价剖面剥落程度, 是剥落总体积与剥落总面积的比值。

[0054] 剥落周长 $l_n$ ;

[0055]  $l_n = \sqrt{(X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2}$ ; (3)

[0056]  $l_n = \sum l_n$ ; (4)

[0057] 式中 $l_n$ 为每个剥落区域形成剥落痕迹曲线各坐标点之间的距离,  $l_n$ 为剥落痕迹曲线的周长。

[0058] 进一步地, 步骤6中通过将上述剥落指标计算结果于人工量测结果进行对比, 通过相对误差判断剥落识别的准确性。

[0059] 与现有技术相比, 本发明具有以下有益的技术效果:

[0060] 本发明基于三维激光检测技术, 快速准确的获取碎石封层表面纹理信息, 并通过对高程点进行平滑, 降噪, 修复异常点处理, 实现三维重构模型的建立, 近似真实的还原碎石封层的表观结构, 能够敏感地识别高程信息的变化, 准确详细的反映碎石封层粒料剥落的信息, 实现剥落点位, 剥落面积、剥落体积、剥落周长多维度指标的提取。基于三维激光检测技术的剥落识别方法, 能够科学、直观、快速、准确的对同步碎石封层的粒料缺失、表面破损进行评价, 同时也为路面破损检测提供新型的思路, 为行车安全分析以及路面养护时机的选择提供了技术支撑。

[0061] 进一步地, 本发明采用三维激光检测技术获取同步碎石封层剥落前后的高程数据, 基于matlab编译环境构建封层试件三维重构模型, 能够真实的反映封层表面纹理状况, 通过对比剥落前后重构模型, 能够准确的定位剥落点位坐标, 并对剥落痕迹曲线进行绘制, 从而实现封层剥落多维度指标得到计算, 为准确评价碎石封层剥落位置、剥落严重程度提供可靠依据, 为路面破损检测提供新型的思路, 为沥青路面使用性能的评价, 行车安全分析以及路面养护时机的选择提供了重要基础。

## 附图说明

[0062] 图1是发明流程示意图;

[0063] 图2是试件剥落前室内同步碎石封层原件图;

[0064] 图3是试件剥落后同步碎石封层原件图；

[0065] 图4是剥落前室内同步碎石封层三维模型平滑图，其中(a)为三维重构模型平面图，(b)为三维重构模型俯视图；

[0066] 图5是剥落后室内同步碎石封层三维模型平滑图，其中(a)为三维重构模型平面图，(b)为三位重构模型俯视图；

[0067] 图6是剥落痕迹曲线三维模型图。

## 具体实施方式

[0068] 下面对本发明作进一步详细描述：

[0069] 如图1所示，为发明流程示意图，一种基于三维激光的同步碎石封层剥落识别方法，包括以下步骤：

[0070] 1、剥落前后室内同步碎石封层试件制备与激光点云三维坐标采集制备室内同步碎石封层试件，并用扫刷试验进行剥落处理，在对剥落前后室内同步碎石封层试件固定配准基础上，对室内同步碎石封层试件剥落后的表面纹理进行扫描，获取原始三维激光点云的三维坐标数据；根据检测环境，对三维激光检测设备的曝光值，扫描速度，扫描间距，高度限定等参数进行调节，采用Gocator2380型激光检测仪对剥落后的封层试件进行扫描，获取封层表面纹理信息，提取封层表面高程点数据。

[0071] 2、剥落前后同步碎石封层激光点云三维坐标数据平滑降噪处理

[0072] 为了获取多维度剥落识别各指标信息，并实现剥落点位以及剥落过程的可视化，基于matlab编译环境，采用smooth函数和wden小波基函数对扫描后的高程数据进行平滑，剔除噪点和高程异常点，并提取对应室内同步碎石封层试件中央正方形区域剥落后高程数据点，作为主要试验数据。

[0073] 3、剥落坐标提取

[0074] 3.1剥落前后各点位高程数据对应预处理

[0075] a)通过勾刻油毡纸外缘痕迹与地面刻印标记的方法，确定室内同步碎石封层试件正上与正左方向，对室内同步碎石封层试件进行固定配准；

[0076] b)控制激光发射器的行进速度，保证剥落前后激光发射器行进速度尽量一致，使得获取的高程坐标数据不发生较大偏移；

[0077] 3.2剥落痕迹曲线平面坐标提取

[0078] 求取剥落前后室内同步碎石封层中央方形区域激光点云三维坐标中各点位高程坐标差值，将高程变化明显区域即高程差值不为0的平面坐标提取，并将上述平面坐标与高程差值坐标构成的三维坐标记为三维差值坐标；采用等高线函数contour提取高程差值为0.5mm的平面坐标，即为初步剥落痕迹曲线平面坐标，记为 $(X_n, Y_n)_{\text{原始}}$ ；基于matlab编译环境，采用 $s_{\text{粒}}$ 对 $(X_n, Y_n)_{\text{原始}}$ 围成的闭合区域面积进行筛选，得到剥落痕迹曲线平面坐标 $(X_n, Y_n)$ 。

[0079] 3.3剥落痕迹曲线三维坐标提取

[0080] 依据方形区域剥落后室内同步碎石封层三维点云三维坐标数据，采用surf函数重构方形区域剥落后室内碎石封层三维模型，采用plot3函数将上述0.5mm等高线平面坐标绘制于方形区域剥落后室内碎石封层三维重构模型中，利用find函数提取剥落后中央方形区

域室内同步碎石封层模型中等高线平面坐标对应的高程坐标 $Z_n$ ,从而实现剥落痕迹曲线三维坐标提取,记为 $X_n$ 、 $Y_n$ 、 $Z_n$ 。

#### [0081] 4、多维度剥落识别指标提取

[0082] 依据上述剥落痕迹曲线三维坐标绘制的剥落痕迹曲线,提取多维度剥落识别指标,包括剥落面积,剥落体积,剥落周长;剥落面积指经剥落处理后形成各剥落痕迹曲线围成的平面轮廓面积;剥落体积指经剥落处理后形成剥落痕迹曲线围成的粒料缺失的总体积;剥落周长指经剥落处理后剥落痕迹曲线围成的平面曲线长度;剥落率是指剥落面积占中心正方形面积的百分比。

#### [0083] 5、多维度剥落识别指标计算与剥落程度评价

[0084] 多维度剥落指标为剥落面积 $S_n$ 、剥落周长 $L_n$ 、剥落体积 $V_n$ ,剥落程度指标为剥落率 $S_{相}$ 、剥落深度 $K$ ,基于matlab编译环境,各类指标计算方法如下:

[0085] 剥落面积 $S_n$ :

[0086]  $S_n = \text{polyarea}(X_n, Y_n)$ ;

[0087]  $S = \sum S_n$ ;

[0088]  $S_{相} = S/S_1$ ;

[0089] 式中 $S$ 为剥落总面积, $S_n$ 为各剥落区域剥落面积, $S_1$ 为中央放行区域, $S_{相}$ 为剥落区域占中央方形区域的面积比即剥落率作为评价平面剥落程度指标;

[0090] 剥落体积 $V_n$ :

[0091]  $V_{单} = \Delta z \times S_{单}$ ;

[0092]  $V_n = \sum V_{单} = S_{单} \times \sum \Delta z$ ;

[0093]  $V = \sum V_n$ ;

[0094]  $K = V/S$ ;

[0095] 式中 $V$ 指剥落总体积, $V_n$ 为各剥落区域的剥落体积, $S_{单}$ 是指基于激光横纵间距将剥落平面区域划分成若干单元,每一个单元的面积 $0.55\text{mm} \times 0.25\text{mm}$ 记为 $S_{单}$ , $\Delta z$ 为每个剥落区域剥落边缘的各点位剥落前后高程差值, $V_{单}$ 指每个单元长方体体积, $K$ 为试件剥落总体积与剥落总面积比值即剥落深度作为评价破面剥落程度指标。如图所示,左边的长方体堆叠示意图表示实际剥落粒料的位置与形态,而各点位实际剥落的高差变化值即为小长方体高度,因此可将剥落下来的粒料体积计算转化为该区域中若干小长方体体积的求和计算。

[0096] 剥落周长 $L_n$ :

[0097]  $l_n = \sqrt{(X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2}$ ;

[0098]  $L_n = \sum l_n$ ;

[0099] 式中 $l_n$ 为每个剥落区域形成剥落痕迹曲线各坐标点之间的距离, $L_n$ 为剥落痕迹曲线的周长。

#### [0100] 6、剥落识别结果

[0101] 对同步碎石封层剥落平面区域面积,粒料剥落体积,平面剥落区域周长的量测,并与人工测量结果进行对比分析,计算机器检测与人工检测的误差,对基于三维激光剥落识别的准确性进行验证;同时,通过机器检测的结果进行计算分析,利用平面粒料剥落率与剖面剥落深度对粒料剥落程度进行评价。

[0102] 下面结合具体实例对本发明做详细描述:

[0103] 本实例选取同步碎石封层剥落病害作为试验对象,采用三维激光检测系统获取同步碎石封层剥落前后的三维高程数据,激光纵向间距为0.25mm,横向精度为0.55mm。

[0104] 参见图1为发明流程图,一种基于三维激光检测技术的同步碎石封层剥落识别方法,包括以下步骤:

[0105] 1、剥落前后室内同步碎石封层试件制备与激光点云三维坐标采集

[0106] 本实例选取粒径为9.5-13.2mm石灰岩和SBS改性沥青作为同步碎石封层的粒料和粘结料,以直径为300mm的圆形油毡纸作封层底面,采用手动均匀撒布的方式成型室内同步碎石封层试件,参考图2成型的剥落前室内同步碎石封层原件。通过低温加速磨损试验对同步碎石封层进行剥落处理,参考图3为剥落后室内同步碎石封层原件。采用长安大学自主研发的三维激光检测设备对室内同步碎石封层进行激光扫描,以获取室内同步碎石封层剥落前后的高程数据,为尽量避免周围灯光变化对检测环境的影响,通过对设备的反复调试确定曝光值为800 $\mu$ s,高度限定为2.5mm,测量距离为800mm,激光纵向间距为0.55mm,横向间距为0.25mm,经扫描获得543 $\times$ 1220激光点云三维坐标数据。

[0107] 2、剥落前后室内同步碎石封层激光点云三维坐标平滑降噪处理

[0108] 为了获取多维度剥落识别各指标信息,并实现剥落点位以及剥落过程的可视化,基于matlab编译环境,采用smooth函数和wden小波基函数对扫描后的高程数据进行平滑,剔除噪点和高程异常点,smooth函数采用span为0.005mm的loess算法进行初次平滑,采用wden函数中硬阈值规则进行二次去噪,较好的保留高程变化特征,并提取对应封层试件中央边长为100mm正方形区域剥落前后高程数据点,经换算提取180至360行,400至800列的数据作为实际长度为100mm $\times$ 100mm的矩形区域高程数据,可实现剥落前后三维重构模型的构建。

[0109] 3、剥落痕迹曲线坐标提取

[0110] 3.1剥落前后各点位高程数据对应预处理

[0111] 通过勾刻油毡纸外缘痕迹与地面刻印标记的方法,确定室内同步碎石封层试件正上与正左方向,对室内同步碎石封层试件进行固定配准。同时控制激光发射器的行进速度,保证剥落前后激光发射器行进速度尽量一致,使得获取的高程坐标数据不发生较大偏移。

[0112] 3.2剥落痕迹曲线平面坐标提取

[0113] 求取剥落前后室内同步碎石封层中央方形区域激光点云三维坐标中各点位高程坐标差值,将高程变化明显区域即高程差值不为0的平面坐标提取,并将上述平面坐标与高程差值坐标构成的三维坐标记为三维差值坐标;采用等高线函数contour提取高程差值为0.5mm的平面坐标,即为初步剥落痕迹曲线平面坐标,记为 $(X_n, Y_n)_{\text{原始}}$ ;基于matlab编译环境,采用 $s_{\text{粒}}$ 对 $(X_n, Y_n)_{\text{原始}}$ 围成的闭合区域面积进行筛选,得到剥落痕迹曲线平面坐标 $(X_n, Y_n)$ 。

[0114] 3.3剥落痕迹曲线三维坐标提取

[0115] 依据方形区域剥落前与剥落后室内同步碎石封层激光点云三维坐标数据,采用surf函数重构方形区域剥落前后室内碎石封层三维模型,参考图4与图5的剥落前后室内同步碎石封层中央方形区域三维模型。采用plot3函数将上述0.5mm等高线平面坐标绘制于方形区域剥落后室内碎石封层三维重构模型中,利用find函数提取剥落后中央方形区域室内

同步碎石封层模型中等高线平面坐标对应的高程坐标 $Z_n$ ,从而实现剥落痕迹曲线三维坐标提取,记为 $X_n$ 、 $Y_n$ 、 $Z_n$ 。

#### [0116] 4、多维度剥落识别指标提取

[0117] 依据绘制的剥落轮廓曲线,提取多维度剥落识别指标,包括剥落面积,剥落体积,剥落周长;剥落面积指经剥落处理后形成各剥落痕迹曲线围成的平面轮廓面积;剥落体积指经剥落处理后形成剥落痕迹曲线围成的粒料缺失的总体积,剥落周长指经剥落处理后剥落痕迹曲线围成的平面曲线长度;剥落率是指剥落面积占中心正方形面积的百分比。

#### [0118] 5、剥落识别指标计算与剥落程度评价

[0119] 根据公式(1) - (4),依次计算剥落识别指标,多维度剥落指标为剥落面积 $S_n$ ( $\text{mm}^2$ )、剥落周长 $L_n$ (mm)、剥落体积 $V_n$ ( $\text{mm}^3$ ),以及剥落程度评价指标剥落率 $S_{\text{相}}$ (%)剥落深度单 $K$ (mm),并与人工测量结果进行对比,共采用三组不同针片状含量碎石封层试件进行试验,记为剥落1#,剥落2#,剥落3#,其针片状含量为0%,15%,20%的三个碎石封层试件。其中1#试件针片状含量为0%;2#试件针状含量0%,片状含量15%;3#试件针状含量10%,片状含量10%。为计算结果如下表:

[0120] 表1封层试件1#多维度识别指标

1#100-0-0 各剥落区域		A1	A2	A3	A4	A5	A6	
[0121]	$L_n/\text{mm}$	激光检测	16	17	24	41	62	124
		手动检测	15	15	26	38	60	120
		相对误差	6.7	13.3	7.7	7.9	3.3	3.3
[0122]	$S_n/\text{mm}^2$	激光检测	11	20	24	82	183	323
		手动检测	10	19	25	79	182	309
		相对误差	10.0	5.3	4.0	3.8	0.5	4.5
[0122]	$V_n/\text{mm}^3$	激光检测	67	175	176	724	1558	2551
		手动检测	65	160	180	712	1548	2500
		相对误差	3.1	9.4	2.2	1.7	0.6	2.0

[0123] 表2封层试件2#多维度识别指标

2#85-0-15 剥落区域		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
[0124]	$L_n/\text{mm}$	激光检测	20	65	44	62	56	82	99	206
		手动检测	21	64	47	61	57	81	98	202
		相对误差	4.8	1.6	6.4	1.6	1.8	1.2	1.0	2.0
[0124]	$S_n/\text{mm}^2$	激光检测	52	97	100	167	210	244	418	597
		手动检测	55	89	100	159	215	241	413	564
		相对误差	5.5	9.0	0.0	5.0	2.3	1.2	1.2	5.9
[0124]	$V_n/\text{mm}^3$	激光检测	491	743	824	1448	1962	2409	3986	4663
		手动检测	499	733	828	1432	1984	2400	3966	4632
		相对误差	1.6	1.4	0.5	1.1	1.1	0.4	0.5	0.7

[0125] 表3封层试件3#多维度识别指标

3#80-10-10		A1	A2	A3	A4	A5	
[0126]	$L_n/mm$	激光检测	16	18	31	62	193
		手动检测	16	19	30	60	190
		相对误差	0.0	5.3	3.3	3.3	1.6
[0126]	$S_n/mm^2$	激光检测	15	16	33	115	544
		手动检测	14	17	32	109	529
		相对误差	7.1	5.9	3.1	5.5	2.8
[0126]	$V_n/mm^3$	激光检测	60	56	448	1188	5483
		手动检测	58	59	440	1040	5290
		相对误差	3.4	5.1	1.8	14.2	3.6

[0127] 表4剥落程度评价指标

试件类型		1#	2#	3#	
[0128]	剥落率/%	激光检测	6.5	18.9	7.2
		手动检测	6.3	18.4	7.0
		相对误差	3.0	2.6	3.0
[0128]	剥落深度/mm	激光检测	8.2	8.8	10.0
		手动检测	8.3	9.0	9.8
		相对误差	1.3	2.3	1.9

[0129] 表5剥落程度等级划分

剥落率 \ 剥落深度	$S_{相} < 10$	$10 \leq S_{相} < 20$	$S_{相} \geq 20$
	$3 \leq K < 6$	剥落 1 级	剥落 2 级
$6 \leq K < 9$	剥落 2 级	剥落 3 级	剥落 4 级
$K \geq 9$	剥落 3 级	剥落 4 级	剥落 5 级

[0132] 表6剥落分级

剥落 1 级	剥落 2 级	剥落 3 级	剥落 4 级	剥落 5 级
轻微剥落	中度剥落	重度剥落	严重剥落	试件破坏

[0134] 7、剥落识别结果

[0135] 经试件剥落指标计算,结合图6剥落痕迹曲线三维模型展示,3类针片状含量不同的封层试件剥落周长,剥落面积,剥落体积识别指标最大绝对误差为13.3%、10.0%、14.2%;剥落程度评价指标剥落率的相对误差为2.6%,剥落深度相对误差为2.3%。根据此方法计算剥落面积,剥落体积,剥落周长的剥落识别指标,相对误差在1-9%,评价指标误差在1-3%,故以此方法可以实现对同步碎石封层的准确识别。

[0136] 根据表1-3结果多维度识别结果与评价结果所示,1#碎石封层剥总周长为284mm、剥落总面积为643mm<sup>2</sup>、剥落总体积为5251mm<sup>3</sup>、2#碎石封层剥落总周长为634mm、剥落总面积为1885mm<sup>2</sup>、剥落总体积为16526mm<sup>3</sup>、3#碎石封层剥落总周长320mm、剥落总面积723mm<sup>2</sup>、剥落总体积7235mm<sup>3</sup>;根据表4可知1#、2#、3#剥落率分别为6.5%、18.9%、7.2%,剥落深度分别为8.2mm、8.8mm、10.0mm。以上结果表明封层试件随着针片状含量逐渐增大,剥落率有所增大,但针片状含量与剥落率并非正相关:2#试件剥落率明显大于1#、2#试件,说明针状粒料

相比于片状粒料更容易导致粒料剥落。同时,随着针片状含量增加,各碎石封层试件剥落深度也随之增加,表明单位面积剥落区域内,剥落单元体体积增大,碎石封层破坏深度也越来越大,剥落严重程度提高;并且剥落率与剥落深度并不随针片状含量增加相同趋势变化,表明粒料剥落具有平面剖面的各向异性。依据以上多维度剥落识别指标与剥落严重程度指标对剥落程度进行划分,如表5、6所示,将剥落程度划分为轻微剥落、中度剥落、重度剥落、严重剥落、试件破坏,5个级别,由此可知1#试件属于二级剥落;2#试件属于五级剥落;3#试件属于三级剥落,依次方法能够对碎石封层进行有效的剥落程度划分。

[0137] 以上结合具体实例对本发明的具体实施方式对本发明作了进一步详细说明,所述内容均为对本发明的解释但这些说明不能被理解为限制了本发明的范围,本发明的保护范围由随附的权利要求书限定,任何在本发明权利要求基础上的改动就是本发明的保护范围。

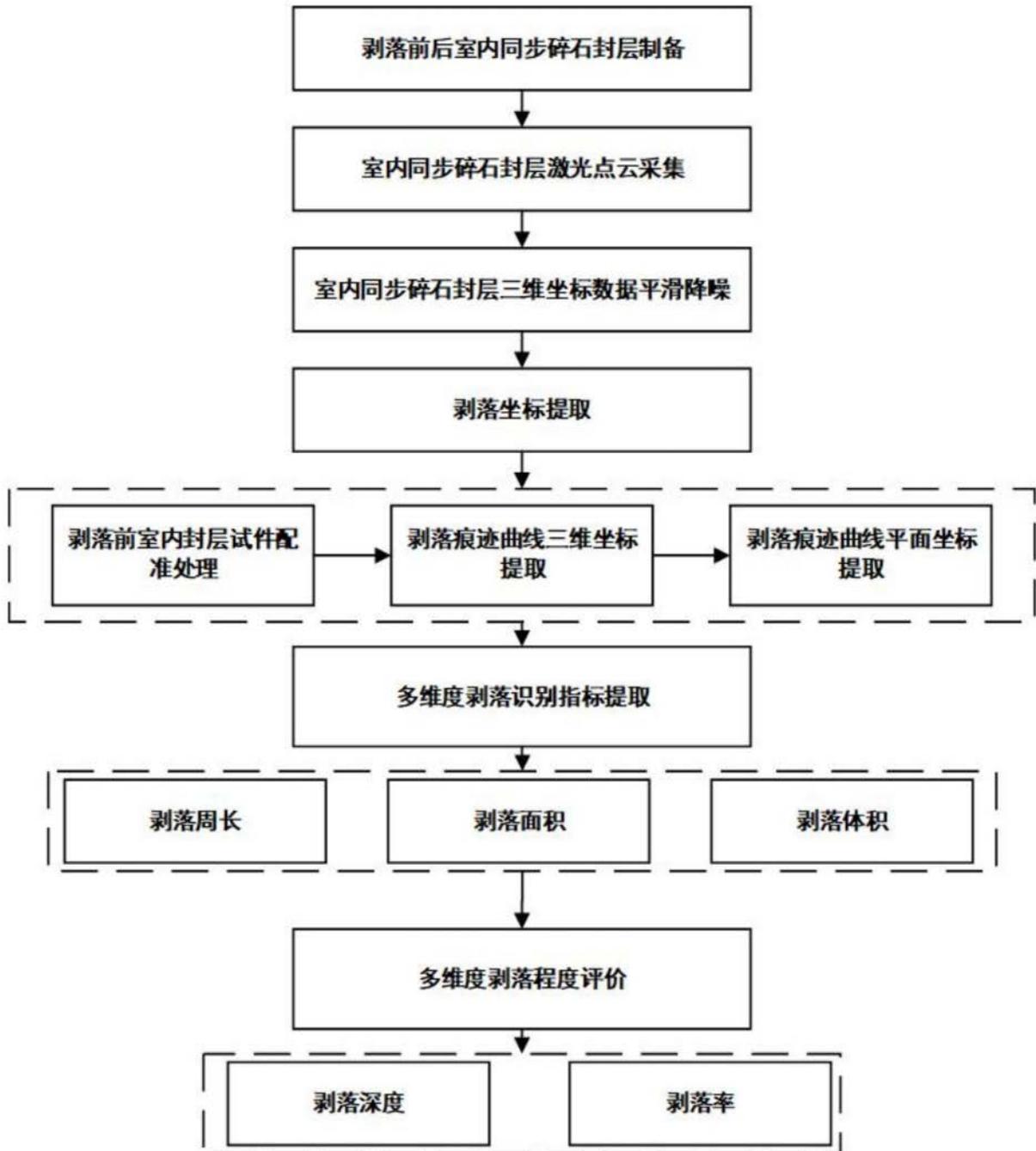


图1



图2

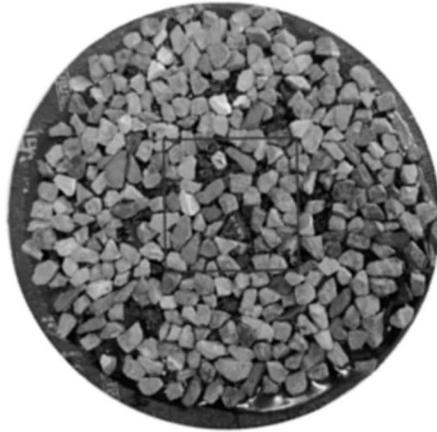
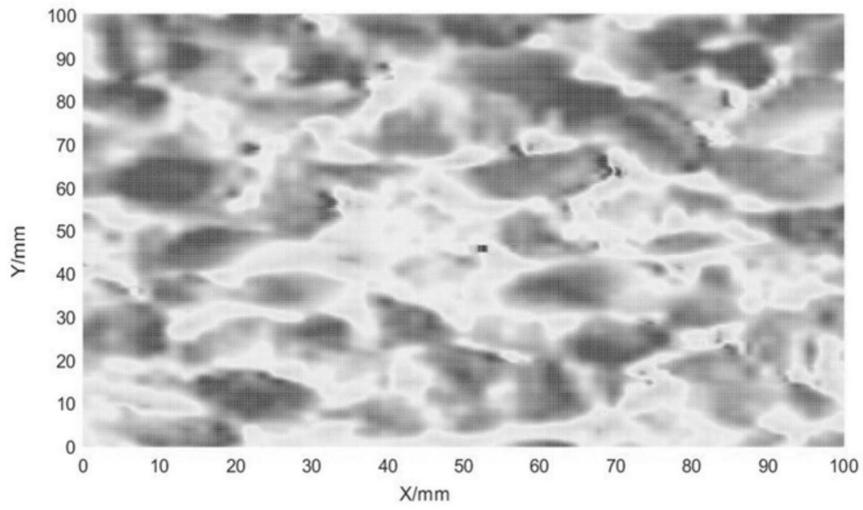
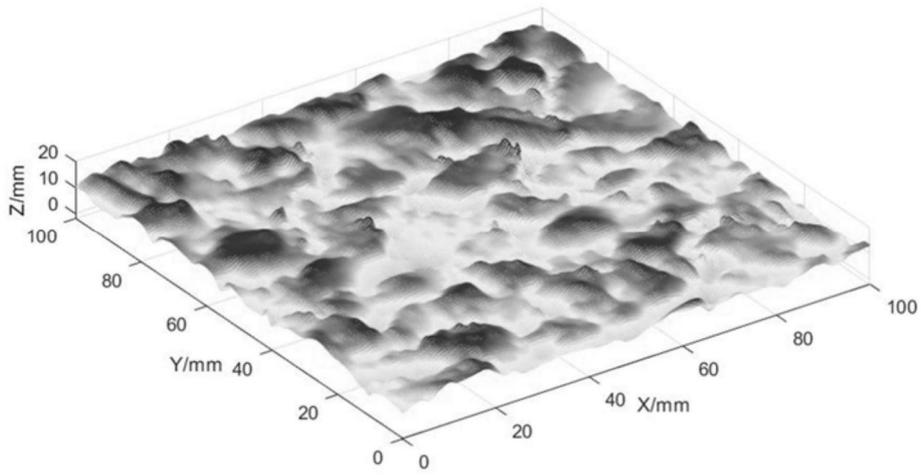


图3

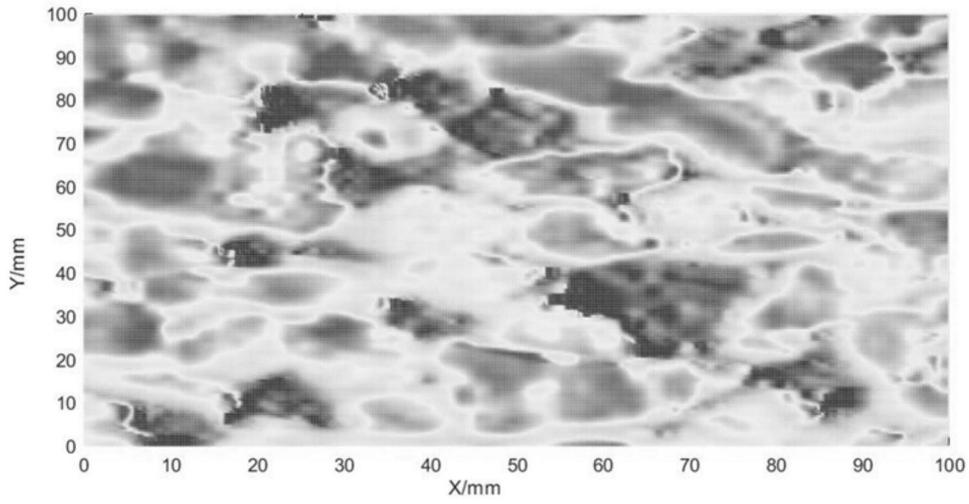


(a)

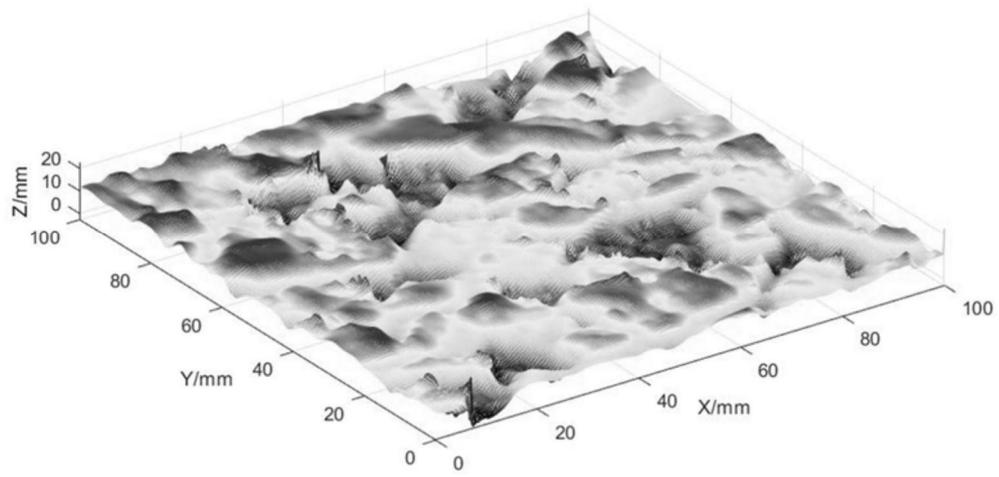


(b)

图4



(a)



(b)

图5

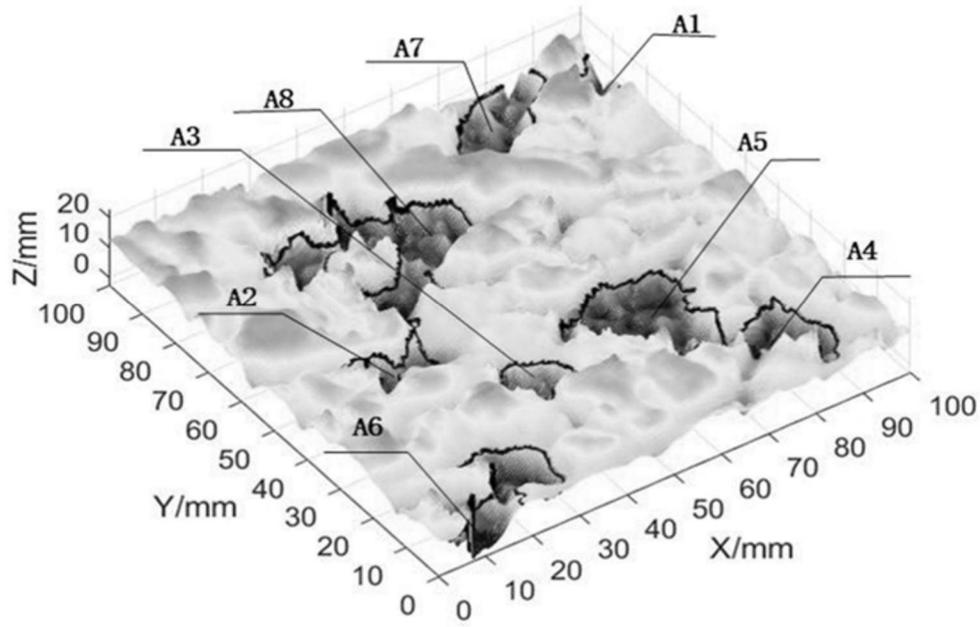


图6