



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107883891 A

(43)申请公布日 2018.04.06

(21)申请号 201711445923.8

G01B 11/28(2006.01)

(22)申请日 2017.12.27

G01B 11/00(2006.01)

(71)申请人 长安大学

G01B 11/26(2006.01)

地址 710064 陕西省西安市碑林区南二环
中段33号

G01C 5/00(2006.01)

申请人 内蒙古自治区交通建设工程质量监
督局

G01C 9/00(2006.01)

(72)发明人 惠冰 梁海媚 张洪伟 王学营
李喆

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任
公司 61200

代理人 齐书田

(51)Int.Cl.

G01B 11/24(2006.01)

G01B 11/03(2006.01)

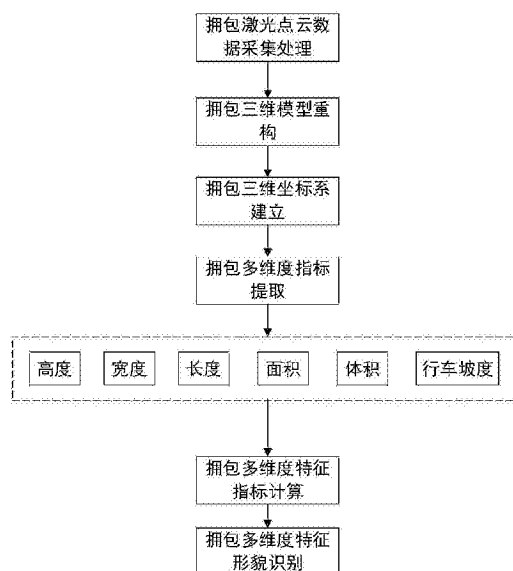
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法

(57)摘要

本发明公开了一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,利用三维线激光检测设备对沥青路面拥包病害进行扫描,获取包含拥包形貌的原始三维线激光高程点云数据,并对原始三维线激光点云数据进行平滑,获得准确反映拥包三维形貌特征的高程点云数据;用平滑后的所有连续拥包横断面依次进行组合,重构出拥包的三维表面轮廓;建立拥包三维坐标系;根据基于平滑数据建立的拥包病害三维模型,分析拥包病害的三维形貌特征,提取拥包多维度特征指标;以零等高线围成的水平面为基准面,计算沥青路面拥包多维度特征指标;根据拥包的多维度形貌指标计算结果,分析拥包病害的严重程度,估计其对行车的影响范围,推算修补面积,推测拥包的成因。



1. 一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:利用三维线激光检测设备对沥青路面拥包病害进行扫描,获取包含拥包形貌的原始三维线激光高程点云数据,并对原始三维线激光点云数据进行平滑,获得准确反映拥包三维形貌特征的高程点云数据;

步骤2:用准确反映拥包三维形貌特征的高程点云数据在每个检测横断面上逐个光滑连接得到拥包横断面,再将所有连续拥包横断面依次进行组合,重构出拥包的三维表面轮廓;

步骤3:建立拥包三维坐标系;

步骤4:根据基于平滑数据重构的拥包三维表面轮廓,分析拥包病害的三维形貌特征,提取拥包多维度特征指标;

步骤5:以零等高线围成的水平面为基准面,计算沥青路面拥包病害的拥包多维度特征指标;

步骤6:根据拥包的多维度特征指标计算结果,分析拥包病害的严重程度,估计其对行车的影响范围,推算修补面积,推测拥包的成因。

2. 根据权利要求1所述的一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,其特征在于,步骤1中对原始三维线激光点云数据进行平滑具体包括:

a) 利用加权回归散点平滑法对原始三维线激光高程点云数据进行平滑处理,修复缺失点;

b) 利用局部拉依达法则对a)中平滑后的数据进行异常点剔除;

c) 再利用加权回归散点平滑法对b)中剔除异常点后的数据进行缺失点修复。

3. 根据权利要求1所述的一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,其特征在于,步骤3中建立拥包三维坐标系具体为:在拥包附近找一能够将整个拥包包含在第一象限的路面点作为原点 O ;以道路中心线的垂线为横坐标,以道路中心至道路边线方向为坐标正向,用 X 表示;以道路纵向为纵坐标,以行车方向为坐标正向,用 Y 表示;垂直于水平面方向为高程方向,以向上为正向,用 H 表示,表示激光点云的数值大小。

4. 根据权利要求1所述的一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,其特征在于,步骤4中拥包高度指拥包最高点与基准面的高程差值;拥包宽度指拥包在路面横向的最大覆盖长度;拥包长度指拥包在道路纵向的最大延伸长度;拥包面积指拥包凸起部分覆盖路面的面积;拥包体积指拥包凸起部分的体积;拥包行车坡度指行车方向拥包隆起的最大坡度值。

5. 根据权利要求1所述的一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,其特征在于,拥包多维度特征指标包括拥包高度 H_y 、拥包宽度 W_y 、拥包长度 L_y 、拥包面积 A_y 、拥包体积 V_y 以及拥包行车坡度 Φ_y 。

6. 根据权利要求5所述的一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,其特征在于,拥包高度 H_y 、拥包宽度 W_y 、拥包长度 L_y 、拥包面积 A_y 、拥包体积 V_y 以及拥包行车坡度 Φ_y 的计算方法如下:

拥包高度 H_y :

$$H_y = H_{\max} - H_0 \quad (1)$$

式中, H_{\max} 为拥包的最高点的高程值, H_0 为基准面的高程值;

拥包宽度 W_y :

$$W_y = \text{MAX} \{ (X_{02} - X_{01})_1, \dots, (X_{02} - X_{01})_i, \dots, (X_{02} - X_{01})_a \} \quad (2)$$

式中, X_{01} 、 X_{02} 为每个拥包横断面位于零等高线上的点的横坐标; X_{01} 为接近原点的零高程点; X_{02} 为远离原点的零高程点; $(X_{01} - X_{02})_1$ 为第一个拥包横断面上两个零高程点间距; $(X_{01} - X_{02})_i$ 为第*i*个拥包横断面上两个零高程点间距, a 为拥包横断面的个数;

拥包长度 L_y :

$$L_y = \text{MAX} \{ (Y_{02} - Y_{01})_1, \dots, (Y_{02} - Y_{01})_j, \dots, (Y_{02} - Y_{01})_b \} \quad (3)$$

式中, Y_{01} 、 Y_{02} 为每个拥包纵面位于零等高线上的点的纵坐标; Y_{01} 为接近原点的零高程点; Y_{02} 为远离原点的零高程点; $(X_{01} - X_{02})_1$ 为第一个拥包纵断面上两个零高程点间距; $(X_{01} - X_{02})_i$ 为第*j*个拥包纵断面上两个零高程点间距; b 为拥包纵断面的个数;

拥包面积 A_y :

三维线激光的激光点横向间距是一定的,以激光点横向间距为单位,将拥包零等高线包围的闭合图形,即拥包面积分为*n*个纵向的条块,每个条块近似视为梯形,则拥包面积计算公式如下:

$$A_y = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_{i+1} - X_i) [(Y_{02} - Y_{01})_i + (Y_{02} - Y_{01})_{i+1}] \quad (4)$$

式中,式 X_i 表示拥包面积范围内第*i*个纵断面的横坐标, $(Y_{02} - Y_{01})_i$ 表示该纵断面上两个零高程点间距;

拥包体积 V_y :

以等高面为切割面,将拥包分为*m*个薄梯台,薄梯台的上下表面为相邻等高线围成的闭合平面,拥包体积的计算公式如下:

$$V_y = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^m (A_k + A_{k+1} + \sqrt{A_k A_{k+1}}) \quad (5)$$

式中, A_k 表示沿*H*坐标正向第*k*个等高面, m 为薄梯台的个数;

拥包行车坡度角 Φ_y :

$$\Phi_y = \text{MAX} \left\{ \frac{H_{\max 1}}{l_1}, \dots, \frac{H_{\max i}}{l_i}, \dots, \frac{H_{\max q}}{l_q} \right\} \quad (6)$$

式中, $H_{\max i}$ 为第*i*个拥包纵断面上高程点最大值, l_i 为 $H_{\max i}$ 对应纵坐标与接近原点的零高程点纵坐标的距离, q 表示拥包纵断面的个数。

7. 根据权利要求1所述的一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,其特征在于,步骤6中将步骤5的拥包多维度指标计算结果与对应真值作比较,通过分析标准差、绝对误差和相对误差判断计算结果的准确性;再根据拥包的多维度特征指标计算结果,分析拥包病害的严重程度,估计其对行车的影响范围,推算最小修补面积,推测拥包的成因及其对行车的危害。

一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法

技术领域

[0001] 本发明属于沥青路面病害检测领域,具体涉及一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法。

背景技术

[0002] 拥包是对沥青路面性能影响最大的病害之一。随着运营年限的不断增长,沥青路面在荷载、道路线形、路面结构材料、环境的共同影响下,施工工艺面出现轻微、连续的,接近等距离,形似洗衣搓板的起伏状,路面出现局部隆起,产生持久变形,进而形成拥包;若得不到及时维修,不但影响出行舒适感,而且会损伤车辆,造成经济损失;在车速较快的情况下,甚至会因爆胎、偏移从而酿成交通事故,威胁驾驶人员及乘客的生命安全;另一方面,拥包使道路结构整体性和稳定性变差,其不仅发生在路表面,也经常危及到中、下面层甚至基层,严重的拥包还可导致结构破坏,大大缩短高速公路的使用寿命,增加公路的养护成本,造成经济上的巨大损失。因此,全面、准确的拥包检测是路面状况评价与养护措施选择的重要依据。

[0003] 目前,我国拥包的检测最常用的方法是采用3m直尺人工测量和多功能检测车测量;人工测量检测速度慢,检测基准点、最高点和最低点均由人工主观判断,测量数据精度低;多功能检测车主要基于图像法对病害照片进行判别,受路面颜色、光照强度等因素影响,无法对拥包病害的严重程度进行精准识别,更无法获取拥包的高度、体积、坡度等三维特征指标,另外,我国规范仅用高度作为拥包严重程度的评价指标,在长期的工程实践过程中发现,单一高度指标所携带的拥包形貌特征的信息量非常有限,无法建立评价指标与拥包破坏成因或损伤层位之间的相互关系;导致无法科学、准确的对拥包严重程度进行评价,使得养护决策过程中带有很大的局限性。

[0004] 利用三维线激光检测技术获取的路面拥包激光点云数据,可构建近乎真实的拥包形态三维细观模型,对三维模型进行观察分析,可提取准确描述拥包形貌的多维度指标,为科学的描述拥包形貌、准确评价拥包严重程度提供可靠依据,为沥青路面使用性能评价、行车安全分析和路面养护决策提供信息支撑。

[0005] 综上所述,沥青路面拥包的全面、准确评价对路面使用性能评价和行车安全分析至关重要。现行人工检测和基于视频图像的多功等检测车等检测技术和单一高度指标评价难以实现拥包病害的全面、准确描述。因此,提出一种可全面、准确识别沥青路面拥包病害的多维度形貌特征指标的方法成为当前迫切需要解决的技术问题。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,以解决现有的单一指标无法准确评价拥包严重程度的缺陷,本发明提出能准确描述拥包多维度特征的指标,用于科学的评价沥青路面拥包对道路结构与行车安全的危害。

[0007] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0008] 一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤1:利用三维线激光检测设备对沥青路面拥包病害进行扫描,获取包含拥包形貌的原始三维线激光高程点云数据,并对原始三维线激光点云数据进行平滑,获得准确反映拥包三维形貌特征的高程点云数据;

[0010] 步骤2:用准确反映拥包三维形貌特征的高程点云数据在每个检测横断面上逐个光滑连接得到拥包横断面,再将所有连续拥包横断面依次进行组合,重构出拥包的三维表面轮廓;

[0011] 步骤3:建立拥包三维坐标系;

[0012] 步骤4:根据基于平滑数据重构的拥包三维表面轮廓,分析拥包病害的三维形貌特征,提取拥包多维度特征指标;

[0013] 步骤5:以零等高线围成的水平面为基准面,计算沥青路面拥包病害的拥包多维度特征指标;

[0014] 步骤6:根据拥包的多维度特征指标计算结果,分析拥包病害的严重程度,估计其对行车的影响范围,推算修补面积,推测拥包的成因。

[0015] 进一步地,步骤1中对原始三维线激光点云数据进行平滑具体包括:

[0016] a) 利用加权回归散点平滑法对原始三维线激光高程点云数据进行平滑处理,修复缺失点;

[0017] b) 利用局部拉依达法则对a)中平滑后的数据进行异常点剔除;

[0018] c) 再利用加权回归散点平滑法对b)中剔除异常点后的数据进行缺失点修复。

[0019] 进一步地,步骤3中建立拥包三维坐标系具体为:在拥包附近找一能够将整个拥包包含在第一象限的路面点作为原点 O ;以道路中心线的垂线为横坐标,以道路中心至道路边线方向为坐标正向,用 X 表示;以道路纵向为纵坐标,以行车方向为坐标正向,用 Y 表示;垂直于水平面方向为高程方向,以向上为正向,用 H 表示,表示激光点云的数值大小。

[0020] 进一步地,步骤4中拥包高度指拥包最高点与基准面的高程差值;拥包宽度指拥包在路面横向的最大覆盖长度;拥包长度指拥包在道路纵向的最大延伸长度;拥包面积指拥包凸起部分覆盖路面的面积;拥包体积指拥包凸起部分的体积;拥包行车坡度指行车方向拥包隆起的最大坡度值。

[0021] 进一步地,拥包多维度特征指标包括拥包高度 H_y 、拥包宽度 W_y 、拥包长度 L_y 、拥包面积 A_y 、拥包体积 V_y 以及拥包行车坡度 Φ_y 。

[0022] 进一步地,拥包高度 H_y 、拥包宽度 W_y 、拥包长度 L_y 、拥包面积 A_y 、拥包体积 V_y 以及拥包行车坡度 Φ_y 的计算方法如下:

[0023] 拥包高度 H_y :

$$[0024] \quad H_y = H_{\max} - H_0 \quad (1)$$

[0025] 式中, H_{\max} 为拥包的最高点的高程值, H_0 为基准面的高程值;

[0026] 拥包宽度 W_y :

$$[0027] \quad W_y = \text{MAX} \{ (X_{02} - X_{01})_1, \dots, (X_{02} - X_{01})_i, \dots, (X_{02} - X_{01})_a \} \quad (2)$$

[0028] 式中, X_{01} 、 X_{02} 为每个拥包横断面位于零等高线上的点的横坐标; X_{01} 为接近原点的零高程点; X_{02} 为远离原点的零高程点; $(X_{01} - X_{02})_1$ 为第一个拥包横断面上两个零高程点间距; $(X_{01} - X_{02})_i$ 为第 i 个拥包横断面上两个零高程点间距, a 为拥包横断面的个数;

[0029] 拥包长度 L_y :

$$L_y = \text{MAX} \{ (Y_{02} - Y_{01})_1, \dots, (Y_{02} - Y_{01})_j, \dots, (Y_{02} - Y_{01})_b \} \quad (3)$$

[0031] 式中, Y_{01} 、 Y_{02} 为每个拥包纵面位于零等高线上的点的纵坐标; Y_{01} 为接近原点的零高程点; X_{02} 为远离原点的零高程点; $(X_{01} - X_{02})_1$ 为第一个拥包纵断面上两个零高程点间距; $(X_{01} - X_{02})_i$ 为第j个拥包纵断面上两个零高程点间距; b 为拥包纵断面的个数;

[0032] 拥包面积 A_y :

[0033] 三维线激光的激光点横向间距是一定的,以激光点横向间距为单位,将拥包零等高线包围的闭合图形,即拥包面积分为 n 个纵向的条块,每个条块近似视为梯形,则拥包面积计算公式如下:

$$A_y = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_{i+1} - X_i) [(Y_{02} - Y_{01})_i + (Y_{02} - Y_{01})_{i+1}] \quad (4)$$

[0035] 式中,式中 X_i 表示拥包面积范围内第 i 个纵断面的横坐标, $(Y_{02} - Y_{01})_i$ 表示该纵断面上两个零高程点间距;

[0036] 拥包体积 V_y :

[0037] 以等高面为切割面,将拥包分为 m 个薄梯台,薄梯台的上下表面为相邻等高线围成的闭合平面,拥包体积的计算公式如下:

$$V_y = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^m (A_k + A_{k+1} + \sqrt{A_k A_{k+1}}) \quad (5)$$

[0039] 式中, A_k 表示沿 H 坐标正向第 k 个等高面, m 为薄梯台的个数;

[0040] 拥包行车坡度角 Φ_y :

$$\Phi_y = \text{MAX} \left\{ \frac{H_{\max 1}}{l_1}, \dots, \frac{H_{\max i}}{l_i}, \dots, \frac{H_{\max q}}{l_q} \right\} \quad (6)$$

[0042] 式中, $H_{\max i}$ 为第 i 个拥包纵断面上高程点最大值, l_i 为 $H_{\max i}$ 对应纵坐标与接近原点的零高程点纵坐标的距离, q 表示拥包纵断面的个数。

[0043] 进一步地,步骤6中将步骤5的拥包多维度指标计算结果与对应真值作比较,通过分析标准差、绝对误差和相对误差判断计算结果的准确性;再根据拥包的多维度特征指标计算结果,分析拥包病害的严重程度,估计其对行车的影响范围,推算最小修补面积,推测拥包的成因及其对行车的危害。

[0044] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0045] 本发明弥补了在路面养护过程中拥包严重程度评价指标单一的缺陷,采用先进的三维线激光检测技术,快速、准确地获取包含拥包病害多维度形貌的高程点云,对高程点云进行缺失点修复、异常点剔除和噪声平滑处理,重构出拥包病害的三维模型,建立拥包三维坐标系,提取并计算准确描述拥包形貌的多维度指标,基于计算结果,对拥包严重程度、影响范围、修补工程量预估、行车风险评价提供依据。基于三维线激光对拥包病害进行多维度特征形貌识别,不但为沥青路面破损状况评价提供判断依据,还能为网级、智能化路面养护提供信息指导,为科学养护决策提供保障。

附图说明

[0046] 图1是本发明的流程示意图;

[0047] 图2是拥包横断面平滑效果图;

- [0048] 图3是拥包三维形貌重构图；
- [0049] 图4是拥包三维坐标系示意图；
- [0050] 图5是拥包面积、长度、宽度多维度指标提取示意图；
- [0051] 图6是拥包体积、高度、行车坡度多维度指标提取示意图；
- [0052] 图7是拥包多维度指标识别结果图。
- [0053] 注：长度、宽度、高度单位为cm，面积单位为 cm^2 ，体积单位为 cm^3 。

具体实施方式

- [0054] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述：
- [0055] 参见图1，一种沥青路面拥包多维度特征指标识别方法，包括以下步骤：
- [0056] 1、拥包激光点云数据获取与处理
- [0057] 1.1拥包激光点云数据获取
- [0058] 根据检测环境，调控三维线激光检测系统的曝光值、检测宽度、扫描间距等参数，采用长安大学自行研发的三维线激光检测设备对沥青路面拥包病害进行扫描，获取包含拥包形貌的三维线激光高程点云数据。
- [0059] 1.2拥包激光点云数据处理
- [0060] 为了削弱或去除所获取高程点云的噪声，利用局部拉伊达法则和加权回归散点平滑法(loess)对原始拥包三维线激光点云数据进行平滑，获得准确反映拥包三维形貌特征的高程点云数据。
- [0061] 2、拥包三维模型重构
- [0062] 为了多维度地观察分析拥包病害的形态特征，更加全面准确地识别沥青路面拥包病害，用平滑后的拥包高程点云重构出拥包的三维表面轮廓。
- [0063] 3、拥包三维坐标系建立
- [0064] 为了便于对拥包多维度指标进行描述，更加准确地分析拥包的三维形貌特征，建立拥包三维坐标系(X-Y-H)，步骤如下：
- [0065] 为了方便计算，在拥包附近找一可以将整个拥包包含在第一象限的路面点作为原点0；
- [0066] 以道路中心线的垂线为横坐标，以道路中心至道路边线方向为坐标正向，用X表示；
- [0067] 以道路纵向为纵坐标，以行车方向为坐标正向，用Y表示，
- [0068] 垂直于水平面方向为高程方向，以向上为正向，用H表示，表示激光点云的数值大小；
- [0069] 建立的X-Y-H坐标系可用于多维度观察分析拥包形貌，有助于提取能够准确描述其多维度形貌的指标。
- [0070] 4、拥包多维度指标提取
- [0071] 为了便于在路面破损检测过程中对拥包病害的多维度形貌进行识别，对其严重程度进行准确判断，根据基于平滑数据建立的拥包病害三维模型，分析拥包病害的三维形貌特征，提取拥包高度 H_y ，宽度 W_y ，长度 L_y ，拥包面积 A_y ，拥包体积 V_y ，拥包行车坡度 Φ_y 等多维度特征指标，对拥包病害的形貌进行详细描述。

[0072] 其中,拥包高度指拥包最高点与基准面的高程差值;拥包宽度指拥包在路面横向的最大覆盖长度;拥包长度指拥包在道路纵向的最大延伸长度,拥包面积指拥包覆盖路面的面积;拥包体积指拥包凸起部分的体积,拥包行车坡度指行车方向拥包隆起的最大坡度值。

[0073] 5、拥包多维度指标计算

[0074] 以零等高线围成的水平面为基准面,计算沥青路面拥包病害的拥包高度 H_y ,拥包宽度 W_y ,拥包长度 L_y ,拥包面积 A_y ,拥包体积 V_y ,拥包行车坡度 Φ_y ,各指标计算方法如下:

[0075] 拥包高度 H_y :

$$[0076] \quad H_y = H_{\max} - H_0 \quad (1)$$

[0077] 式中, H_{\max} 为拥包最高点的高程值, H_0 为基准面(“0”等高线所在水平面)的高程值。

[0078] 拥包宽度 W_y :

$$[0079] \quad W_y = \text{MAX} \{ (X_{02} - X_{01})_1, \dots, (X_{02} - X_{01})_i, \dots, (X_{02} - X_{01})_a \} \quad (2)$$

[0080] 式中, X_{01} 、 X_{02} 为每个拥包横断面位于“0”等高线上的点的横坐标; X_{01} 为接近原点的“0”高程点横坐标; X_{02} 为远离原点的“0”高程点横坐标; $(X_{01} - X_{02})_1$ 为第一个拥包横断面上两个“0”高程点间距; $(X_{01} - X_{02})_i$ 为第*i*个拥包横断面上两个“0”高程点间距, a 为拥包横断面的个数。

[0081] 拥包长度 L_y :

$$[0082] \quad L_y = \text{MAX} \{ (Y_{02} - Y_{01})_1, \dots, (Y_{02} - Y_{01})_j, \dots, (Y_{02} - Y_{01})_b \} \quad (3)$$

[0083] 式中, Y_{01} 、 Y_{02} 为每个拥包纵断面位于“0”等高线上的点的纵坐标; Y_{01} 为接近原点的“0”高程点纵坐标; Y_{02} 为远离原点的“0”高程点纵坐标; $(X_{01} - X_{02})_1$ 为第一个拥包纵断面上两个“0”高程点间距; $(X_{01} - X_{02})_i$ 为第*j*个拥包纵断面上两个“0”高程点间距; b 为拥包纵断面的个数。

[0084] 拥包面积 A_y :

[0085] 为简化计算,以数据处理后的激光点横向间距为单位,将拥包“0”等高线包围的闭合图形——即拥包面积分为*n*个纵向的条块,每个条块可近似视为梯形,拥包面积计算公式如下:

$$[0086] \quad A_y = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_{i+1} - X_i) [(Y_{02} - Y_{01})_i + (Y_{02} - Y_{01})_{i+1}] \quad (4)$$

[0087] 式中,式中 X_i 表示拥包面积范围内第*i*个纵断面的横坐标, $(Y_{02} - Y_{01})_i$ 表示该纵断面上两个“0”高程点间距。

[0088] 拥包体积 V_y :

[0089] 同理,以等高面为切割面,将拥包分为*m*个薄梯台,薄梯台的上下表面为相邻等高线围成的闭合平面,拥包体积的计算公式如下:

$$[0090] \quad V_y = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^m (A_k + A_{k+1} + \sqrt{A_k A_{k+1}}) \quad (5)$$

[0091] 式中, A_k 表示沿*H*坐标正向第*k*个等高面, m 为薄梯台的个数。

[0092] 拥包行车坡度角 Φ_y :

$$[0093] \quad \Phi_y = \text{MAX} \left\{ \frac{H_{\max 1}}{l_1}, \dots, \frac{H_{\max i}}{l_i}, \dots, \frac{H_{\max q}}{l_q} \right\} \quad (6)$$

[0094] 式中, $H_{\max i}$ 为第 i 个拥包纵断面上高程点云最大值, l_i 为 $H_{\max i}$ 对应纵坐标与接近原点的“0”点纵坐标的距离, q 表示拥包纵断面的个数。

[0095] 6、拥包多维度形貌识别结果

[0096] 分析所拥包多维度指标计算结果的准确性, 再根据拥包的多维度特征指标计算结果, 分析拥包病害的严重程度, 估计其对行车的影响范围, 推算最小修补面积, 推测拥包的成因及其对行车的危害。

[0097] 下面结合具体实施例对本发明做详细描述:

[0098] 本实例选取沥青路面拥包病害作为试验对象, 用车载三维线激光检测系统获取该拥包路面三维线激光高程点云, 激光断面采样间隔为 3mm, 激光电横向精度为 0.6mm。

[0099] 参见图 1, 一种基于三维线激光检测技术的拥包多维度形貌识别方法, 包括以下步骤:

[0100] 1、拥包激光点云数据获取与处理

[0101] 1.1 拥包激光点云数据获取

[0102] 新兴的三维线激光检测技术因其能高速度、高精度、高解析率地构建路表三维形貌特征而成为路面检测的主要发展方向。三维线激光每条激光线可包含 640-4096 个激光数据点, 激光点横向间距为 1mm-0.2mm, 高程分辨率最高可达 0.5mm; 激光线纵向间距最高可达 3mm, 利用车载三维线激光检测系统已实现路面车辙、坑槽、裂缝、平整度、构造深度等检测, 并逐步应用于路面施工质量监控及评估等方面, 代表了未来路况检测与路面施工质量评价的技术发展方向。

[0103] 本实例采用的三维线激光检测设备为长安大学自行研发的车载三维线激光检测系统, 每条轮廓线包含 3303 个激光点, 点间距为 0.6mm, 轮廓间距为 3mm。

[0104] 根据检测环境, 调节三维线激光检测系统的曝光值为 2000, 检测宽度为 3.5m, 扫描间距为 3mm, 采用三维线激光检测系统对沥青路面拥包病害进行扫描, 获取包含拥包形貌的三维线激光高程点云, 为保证激光信号不受天气、温度、湿度和胎压等因素影响, 分别在上午、中午、下午和晚上进行三次试验, 同时为了使检测数据能近乎真实地反映拥包多维度形貌特征, 保证采集的原始数据缺失率控制在 3% 以内。

[0105] 1.2 拥包激光点云数据处理

[0106] 三维激光检测设备采集的三维线激光点云数据受到光照等外界环境的干扰, 往往存在一定的缺失点、异常点及白噪声等噪声, 为了削弱或去除高程点云噪声, 本发明借助 MATLAB 工具对原始数据进行平滑去噪处理, 步骤如下:

[0107] a) 利用加权回归散点平滑法对原始三维线激光高程点云数据进行平滑处理, 修复缺失点;

[0108] b) 利用局部拉依达法则对 a) 中平滑后的数据进行异常点剔除;

[0109] c) 再利用加权回归按点平滑法对 b) 中剔除异常点后的数据进行缺失点修复;

[0110] 图 2 所示为加粗实曲线为经过平滑处理后的拥包横断面形态, 对比图 2 细曲线可发现, 平滑后的曲线更加真实地反映了拥包的形态。

[0111] 2、拥包三维模型重构

[0112] 为了多维度地观察分析拥包病害的形态特征, 更加全面准确地识别沥青路面拥包病害, 平滑后的数据在每一个检测横断面上逐点光滑连接, 得到能准确反映拥包形态的拥

包横断面,再将连续的拥包横断面逐次进行组合,重构出能真实反映拥包宏观形态的的三维表面轮廓如图3。

[0113] 3、拥包三维坐标系建立

[0114] 为了便于对拥包多维度指标进行描述,更加准确地分析拥包的三维形貌,以激光高程点云为元素建立如图4的拥包三维坐标系(X-Y-H),步骤如下:

[0115] 为了方便计算,在拥包附近找一可以将整个拥包包含在第一象限的路面点作为原点0;

[0116] 以道路中心线的垂线为横坐标,以道路中心至道路边线方向为坐标正向,用X表示;

[0117] 以道路纵向为纵坐标,以行车方向为坐标正向,用Y表示,

[0118] 垂直于水平面方向为高程方向,以向上为正向,用H表示,表示激光点云的数值大小;

[0119] 建立的X-Y-H坐标系可用于多角度的观察分析拥包形貌,有助于提取能够准确描述其多维度形貌的指标。

[0120] 4、拥包多维度指标提取

[0121] 拥包严重程度是沥青路面使用性能评价的重要指标,为了便于在路面破损检测过程中对拥包病害的多维度形貌进行识别,对其严重程度进行准确判断,根据基于平滑数据建立的拥包病害三维模型,分析拥包病害的三维形貌特征,提取拥包高度 H_y ,宽度 W_y ,长度 L_y ,拥包面积 A_y ,拥包体积 V_y ,拥包行车坡度 Φ_y ,对拥包病害的形貌进行详细描述,对其严重程度进行准确识别。

[0122] 其中,拥包高度指拥包最高点与基准面的高程差值;拥包宽度指拥包在路面横向的最大覆盖长度;拥包长度指拥包在道路纵向的最大延伸长度,拥包面积指拥包覆盖路面的面积;拥包体积指拥包凸起部分的体积,拥包行车坡度指行车方向的最大坡度值,图5对拥包多维度特征指标提取进行了详细的说明。

[0123] 5、拥包多维度特征指标计算

[0124] 由处理后的三维线激光高程点云数据,根据公式(1)~(6),计算四次测量的拥包多维度指标,计算结果如下表所示:

[0125] 表1拥包多维度指标计算结果

[0126]

指标	高度 H_y (cm)	宽度 W_y (cm)	长度 L_y (cm)	面积 A_y (cm^2)	体积 A_y (cm^3)	行车坡度 Φ_y ($^\circ$)
真实值	2.78	140.97	307.80	23714.50	26890.60	2.48

[0127]

测量值 1	2.71	140.23	306.85	23708.16	26870.83	2.43
测量值 2	2.73	140.65	307.42	23709.68	26878.94	2.45
测量值 3	2.76	140.89	307.74	23710.26	26880.47	2.47
测量值 4	2.69	140.11	306.78	23705.44	26873.59	2.40
标准差	0.03	0.31	0.40	2.31	3.91	0.03
平均值	2.72	140.47	307.20	23707.89	26875.96	2.44
绝对误差	0.06	0.50	0.60	6.11	14.64	0.04
相对误差 (%)	2.06	0.35	0.19	0.03	0.05	1.71

[0128] 6、沥青路面拥包多维度特征指标识别结果分析

[0129] 经计算,根据表1,拥包高度测量平均值为2.72cm,标准差为0.03,绝对误差为0.06,相对误差为2.06%;拥包宽度测量平均值为140.47cm,标准差为0.31,绝对误差为0.60,相对误差为0.35%;拥包长度测量平均值为307.20cm,标准差为0.40,绝对误差为0.60,相对误差为0.19%;拥包面积测量平均值为23707.89cm²,标准差为2.31,绝对误差为6.11,相对误差为0.03%;拥包体积测量平均值为26875.96cm³,标准差为3.91,绝对误差为14.64,相对误差为0.05%;拥包行车坡度测量平均值为2.44°,标准差为0.03,绝对误差为0.04,相对误差为1.71%。根据本方法计算的拥包高度、宽度、长度、行车坡度指标的标准差均小于0.5,面积、体积指标的标准差小于4;计算出的所有测量值相对误差均小于3%。因此,此方法可准确计算出拥包的多维度特征指标。

[0130] 根据测量计算结果,如图6所示,该拥包的隆起最大高度为2.72cm,达到规范的xx等级;宽度为140.47cm,表明拥包在道路宽度方向对行车舒适性的影响范围为140.47cm加一个车身宽度;长度达到307.20cm,加上前方因行成拥包而造成的局部沉陷,表明该拥包在行车方向上对行车安全和行车舒适性的影响范围大于307.20mm;面积达到2307.89cm²,则拥包病害修补的面积至少大于23707.89cm²;体积为26875.96cm³,表明有至少有26875.96cm³的沥青混合料被推挤发生移位,面层已经产生局部沉陷,甚至基层也可能发生了结构破坏,路面稳定性下降,给行车安全和养护工作带来很大的压力;行车坡度角为2.44°,轻则影响行车舒适性,重则会造成较大的车辆横向偏移或造成爆胎,特别是在陡坡下坡路段,在雨天很有可能造成翻车,威胁行车安全。

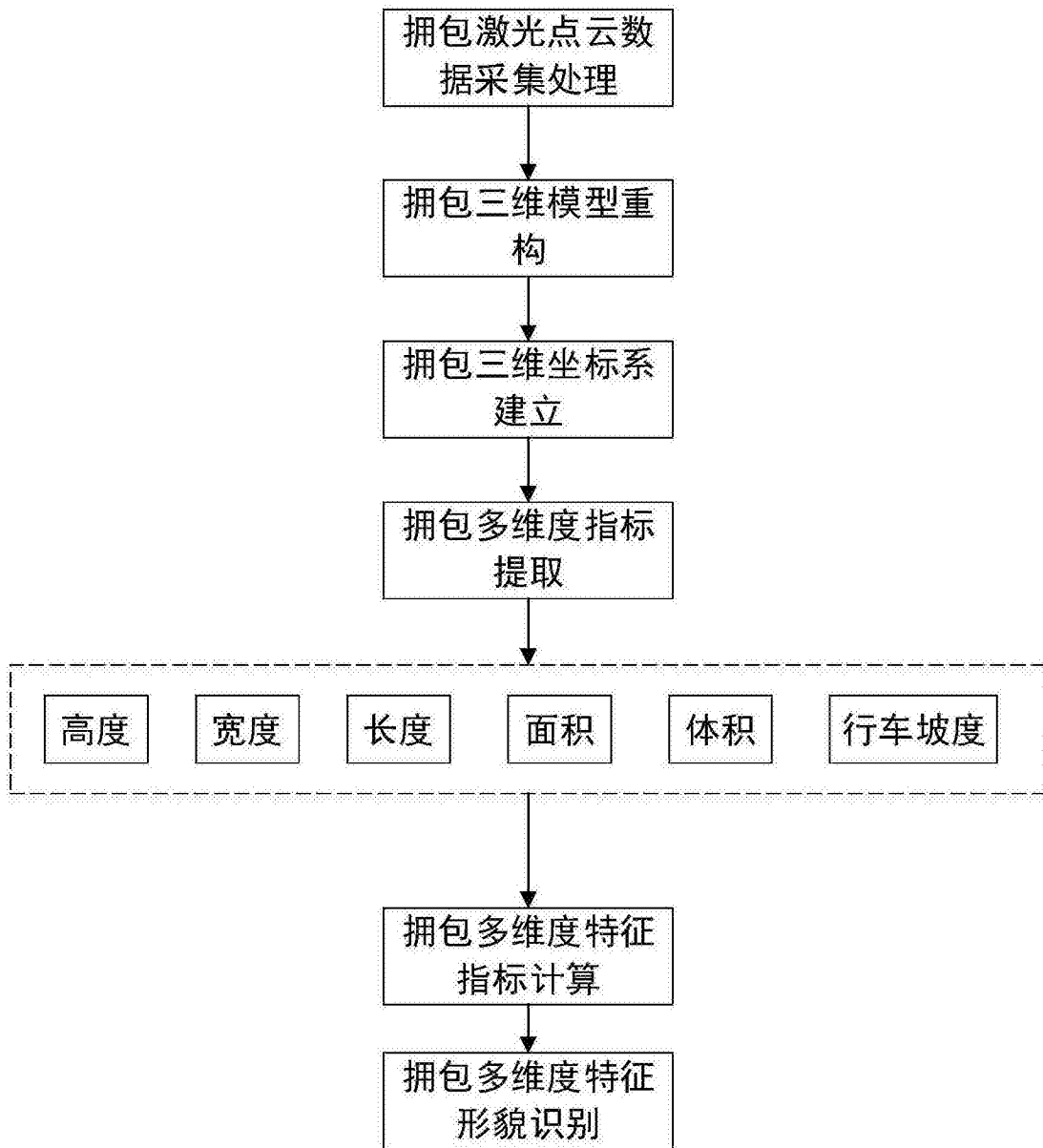


图1

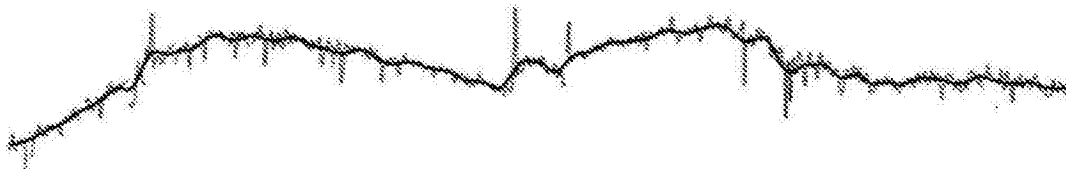


图2

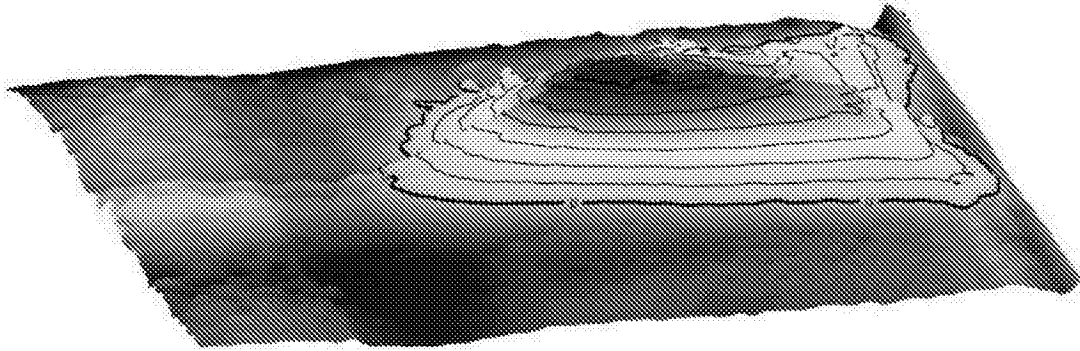


图3

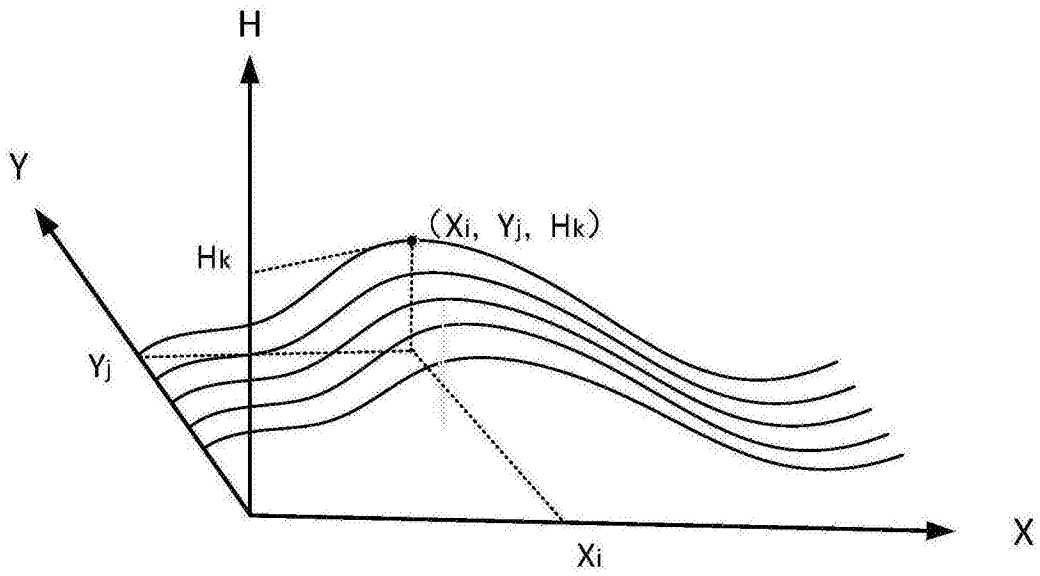


图4

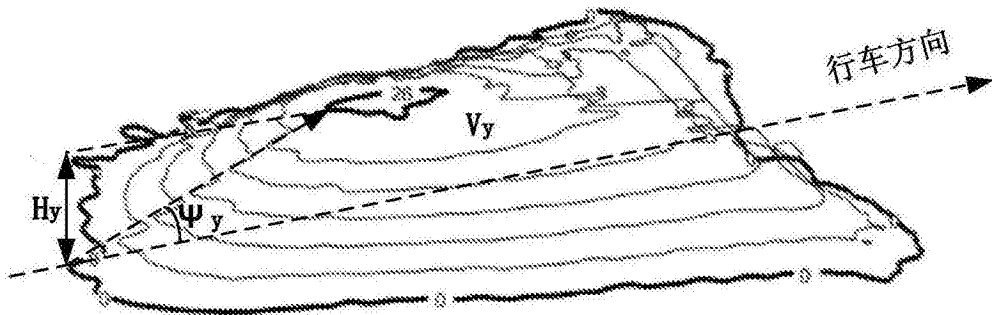


图5

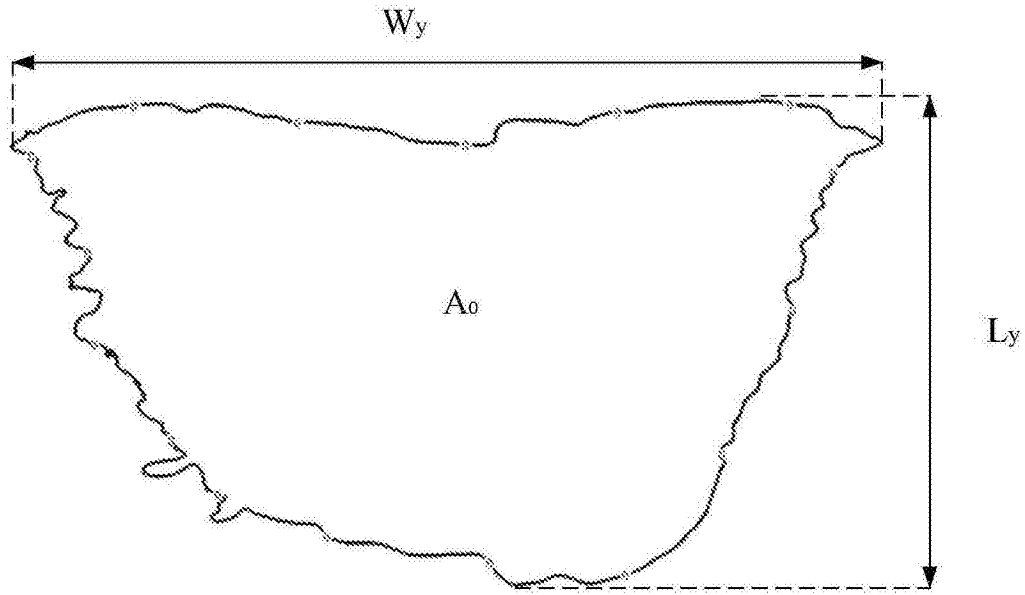


图6

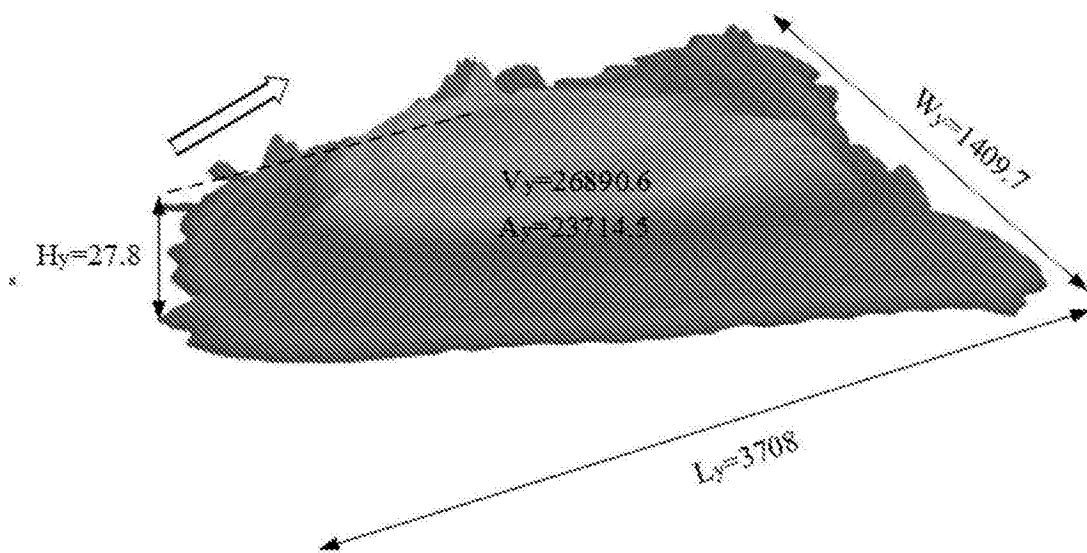


图7