



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103674963 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201310573645. X

(22) 申请日 2013. 11. 15

(71) 申请人 上海嘉珏实业有限公司

地址 200135 上海市奉贤区浦东大道 1480 号山海大厦 709-715 室

(72) 发明人 陈生客 韩毅 项媛媛 陈礼奔

(74) 专利代理机构 西安高新睿通知识产权事务所 61218

代理人 惠文轩

(51) Int. Cl.

G01N 21/88(2006. 01)

G01B 11/02(2006. 01)

G01B 11/16(2006. 01)

G01B 11/30(2006. 01)

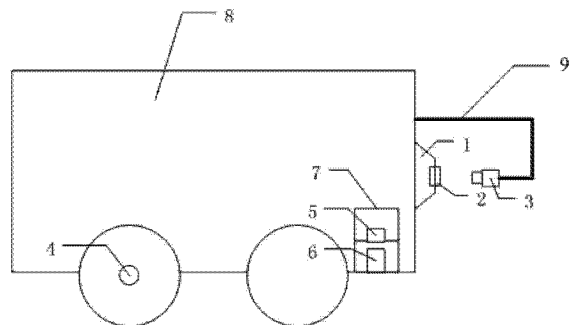
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于数字全景摄像的隧道检测装置及其检测方法

(57) 摘要

本发明属于隧道质量检测技术领域,公开了一种基于数字全景摄像的隧道检测装置及其检测方法。该基于数字全景摄像的隧道检测装置包括:用于沿隧道中心线行驶的检测车、固定在检测车车头前端面中心处的锥面反射镜、固定在锥面反射镜中心处的磁罗盘、固定在检测车车头的 CCD 摄像机、套接固定在检测车后轮转轴上的增量式旋转编码器、设置在检测车上的脉冲计数器;所述锥面反射镜的镜面朝向检测车的前方,所述 CCD 摄像机位于锥面反射镜中心的正前方,所述 CCD 摄像机的镜头水平朝向锥面反射镜;所述脉冲计数器的输入端电连接增量式旋转编码器,所述脉冲计数器的输出端电连接 CCD 摄像机的控制端,所述 CCD 摄像机电连接有工控机。



1. 一种基于数字全景摄像的隧道检测装置,其特征在于,包括:用于沿隧道中心线行驶的检测车(8)、固定在检测车(8)车头前端面中心处的锥面反射镜(1)、固定在锥面反射镜(1)中心处的磁罗盘(2)、固定在检测车(8)车头的 CCD 摄像机(3)、套接固定在检测车(8)后轮转轴上的增量式旋转编码器(4)、设置在检测车(8)上的脉冲计数器(5);所述锥面反射镜(1)的镜面朝向检测车(8)的前方,所述 CCD 摄像机(3)位于锥面反射镜(1)中心的正前方,所述 CCD 摄像机(3)的镜头水平朝向锥面反射镜(1);

所述脉冲计数器(5)的输入端电连接增量式旋转编码器(4),所述脉冲计数器(5)的输出端电连接 CCD 摄像机(3)的控制端,所述 CCD 摄像机(3)电连接有工控机(6)。

2. 如权利要求 1 所述的一种基于数字全景摄像的隧道检测装置,其特征在于,所述 CCD 摄像机(3)通过网线电连接工控机(6)的网络接口。

3. 如权利要求 1 所述的一种基于数字全景摄像的隧道检测装置,其特征在于,所述锥面反射镜(1)通过螺栓固定在检测车(8)车头前端面中心处。

4. 如权利要求 1 所述的一种基于数字全景摄像的隧道检测装置,其特征在于,所述检测车(8)车头处固定有支架(9),所述 CCD 摄像机(3)固定在所述支架(9)上。

5. 一种基于数字全景摄像的隧道检测方法,基于权利要求 1 所述的一种基于数字全景摄像的隧道检测装置,其特征在于,包括以下步骤:

CCD 摄像机标定:制作标定板,标定板上设置标定图像,先后多次将标定板放置在检测车前方,每次标定板所处的位置均不同,且每次标定板均处在锥面反射镜的成像范围之内;每次将标定板放置完成后,CCD 摄像机拍摄锥面反射镜中的图像,利用采集的图像数据进行 CCD 摄像机标定,得到 CCD 摄像机的内参数和 CCD 摄像机的外参数;

产生图像采集触发信号:驾驶检测车沿隧道中心线从隧道入口处向隧道出口处行驶,增量式旋转编码器实时将生成的脉冲信号发送至脉冲计数器;脉冲计数器每隔 N 个计数值便发送一个触发信号至 CCD 摄像机,N 为大于 1 的自然数;

图像数据采集:CCD 摄像机收到触发信号后,便实时对锥面反射镜和磁罗盘进行拍摄,采集锥面反射镜中的隧道图像数据和磁罗盘的罗盘方位图像数据;CCD 将采集到的隧道图像数据和罗盘方位图像数据实时发送至工控机;

获得局部隧道平面展开图:当检测车行驶完隧道全程后,工控机根据每一份隧道图像数据以及与之对应的罗盘方位图像数据,得到一幅对应的局部隧道平面展开图;

图像拼接与隧道质量检测:对所有局部隧道平面展开图进行拼接,得到完整隧道平面展开图;根据完整隧道平面展开图,对隧道质量进行检测。

6. 如权利要求 5 所述的一种基于数字全景摄像的隧道检测方法,其特征在于,在进行 CCD 摄像机标定之后,设定检测车初始行驶速度;设定检测车初始行驶速度包括以下步骤:将隧道图像的设定采样距离乘以 CCD 摄像机的采样频率,得到设定的检测车初始行驶速度。

7. 如权利要求 5 所述的一种基于数字全景摄像的隧道检测方法,其特征在于,在获得局部隧道平面展开图的过程中,当检测车行驶完隧道全程后,工控机根据镜头光学成像原理、CCD 摄像机的内参数、以及 CCD 摄像机的外参数,对存储的所有隧道图像数据和所有罗盘方位图像数据进行坐标转换,将存储的所有隧道图像数据和所有罗盘方位图像数据从摄像机坐标系转换至世界坐标系;然后工控机根据每一份隧道图像数据以及与之对应的罗盘

方位图像数据,得到一幅对应的局部隧道平面展开图。

## 一种基于数字全景摄像的隧道检测装置及其检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于隧道质量检测技术领域,特别涉及一种基于数字全景摄像的隧道检测装置及其检测方法。

### 背景技术

[0002] 随着经济的飞速发展,我国的公路隧道建设日益受到人们的青睐。随着隧道数量的日益增加,我国公路隧道的修建技术也得到了长足的发展。但是隧道经过长时间的运行后,通常会出现隧道渗漏、衬砌开裂、衬砌变形、路面不平等质量问题,从而影响车辆通过隧道时的安全性。为了保证行车的安全性,因此需要定期对隧道的综合状况进行检测。

[0003] 以往在对隧道质量的综合检测过程中,对于隧道渗漏、衬砌开裂和衬砌变形等问题,通常采用目测的方法,采用直尺、三角板以及钢尺等工具测出其裂缝宽度并予以记录。而对于路面状况的问题,通常采用平整度仪对隧道路面的平整度,车辙,构造深度等方面进行检测。但是这些测量方法由于通常采用人工进行测量,测量速度慢,测量效率低下。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提出一种基于数字全景摄像的隧道检测装置及其检测方法。该基于数字全景摄像的隧道检测装置投资费用少,能够方便地对隧道的综合状况进行测量。该基于数字全景摄像的隧道检测方法具有测量速度快、自动化高、无需人工操作的特点。

[0005] 为实现上述技术目的,本发明采用如下技术方案予以实现。

[0006] 技术方案一:

[0007] 一种基于数字全景摄像的隧道检测装置包括:用于沿隧道中心线行驶的检测车、固定在检测车车头前端面中心处的锥面反射镜、固定在锥面反射镜中心处的磁罗盘、固定在检测车车头的 CCD 摄像机、套接固定在检测车后轮转轴上的增量式旋转编码器、设置在检测车上的脉冲计数器;所述锥面反射镜的镜面朝向检测车的前方,所述 CCD 摄像机位于锥面反射镜中心的正前方,所述 CCD 摄像机的镜头水平朝向锥面反射镜;

[0008] 所述脉冲计数器的输入端电连接增量式旋转编码器,所述脉冲计数器的输出端电连接 CCD 摄像机的控制端,所述 CCD 摄像机电连接有工控机。

[0009] 本技术方案的特点和进一步改进在于:

[0010] 所述 CCD 摄像机通过网线电连接工控机的网络接口。

[0011] 所述锥面反射镜通过螺栓固定在检测车车头前端面中心处。

[0012] 所述检测车车头处固定有支架,所述 CCD 摄像机固定在所述支架上。

[0013] 技术方案二:

[0014] 一种基于数字全景摄像的隧道检测方法,基于上述一种基于数字全景摄像的隧道检测装置,包括以下步骤:

[0015] CCD 摄像机标定:制作标定板,标定板上设置标定图像,先后多次将标定板放置在检测车前方,每次标定板所处的位置均不同,且每次标定板均处在锥面反射镜的成像范围

之内；每次将标定板放置完成后，CCD 摄像机拍摄锥面反射镜中的图像，利用采集的图像数据进行 CCD 摄像机标定，得到 CCD 摄像机的内参数和 CCD 摄像机的外参数；

[0016] 产生图像采集触发信号：驾驶检测车沿隧道中心线从隧道入口处向隧道出口处行驶，增量式旋转编码器实时将生成的脉冲信号发送至脉冲计数器；脉冲计数器每隔 N 个脉冲信号（计数值）便发送一个触发信号至 CCD 摄像机，N 为大于 1 的自然数；

[0017] 图像数据采集：CCD 摄像机收到触发信号后，便实时对锥面反射镜和磁罗盘进行拍摄，采集锥面反射镜中的隧道图像数据和磁罗盘的罗盘方位图像数据；CCD 摄像机将采集到的隧道图像数据和罗盘方位图像数据实时发送至工控机；

[0018] 获得局部隧道平面展开图：当检测车行驶完隧道全程后，工控机根据每一份隧道图像数据以及与之对应的罗盘方位图像数据，计算得到一幅对应的局部隧道平面展开图；

[0019] 图像拼接与隧道质量检测：对所有局部隧道平面展开图进行拼接，得到完整隧道平面展开图；根据完整隧道平面展开图，根据算法对隧道质量进行检测。

[0020] 本技术方案的特点和进一步改进在于：

[0021] 在进行 CCD 摄像机标定之后，设定检测车初始行驶速度；设定检测车初始行驶速度包括以下步骤：将隧道图像的设定采样距离乘以 CCD 摄像机的采样频率，得到设定的检测车初始行驶速度。

[0022] 在获得局部隧道平面展开图的过程中，当检测车行驶完隧道全程后，工控机根据镜头光学成像原理、CCD 摄像机的内参数、以及 CCD 摄像机的外参数，对存储的所有隧道图像数据和所有罗盘方位图像数据进行坐标转换，将存储的所有隧道图像数据和所有罗盘方位图像数据从摄像机坐标系转换至世界坐标系；然后工控机根据每一份隧道图像数据以及与之对应的罗盘方位图像数据，得到一幅对应的局部隧道平面展开图。

[0023] 本发明的有益效果为：本发明的基于数字全景摄像的隧道检测装置，主要部件采用锥面反射镜、磁罗盘、CCD 摄像机、增量式旋转编码器和工控机，投资费用少，设计简单，可靠性高。本发明的基于数字全景摄像的隧道检测方法，其对隧道综合状况的计算和识别主要由工控机自动完成，自动化高，测量精度高，而且对隧道的检测结果直观。

## 附图说明

[0024] 图 1 为本发明的一种基于数字全景摄像的隧道检测装置的结构示意图；

[0025] 图 2 为本发明的一种基于数字全景摄像的隧道检测装置的电路连接示意图；

[0026] 图 3 为本发明的一种基于数字全景摄像的隧道检测方法的流程示意图；

[0027] 图 4 为本发明的逆还原变换算法的第一示意图；

[0028] 图 5 为本发明的逆还原变换算法的第二示意图。

## 具体实施方式

[0029] 下面结合附图对本发明作进一步说明：

[0030] 参照图 1，为本发明的一种基于数字全景摄像的隧道检测装置的结构示意图。该基于数字全景摄像的隧道检测装置采用检测车 8 作为该隧道检测装置的安装平台。例如检测车 8 为轿车、卡车等，检测车 8 用于固定安装锥面反射镜、CCD 摄像机、增量式旋转编码器等用于采集隧道相关数据的传感器。检测车 8 车头前端面中心处通过螺栓固定有锥面反射镜

1, 锥面反射镜 1 的底面朝向检测车 8 车头, 顶面朝向检测车 8 的前方, 此时锥面反射镜 1 的镜面朝向检测车的前方。锥面反射镜 1 用于反射隧道内壁图像, 锥面反射镜 1 的镜面能够形成隧道内壁的图像(即成像)。磁罗盘 2 固定在锥面反射镜 1 顶面的中心处; 磁罗盘 2 用于实时指示隧道方位信息, 形成罗盘方位图像。检测车 8 车头处固定有支架 9, 支架 9 上固定有 CCD 摄像机 3。CCD 摄像机 3 水平固定在支架 9 上, 位于锥面反射镜 1 中心的正前方, CCD 摄像机 3 的镜头水平朝向锥面反射镜 1, 而且 CCD 摄像机 3 的镜头中心处于锥面反射镜的中心线上。CCD 摄像机 3 与锥面反射镜 1 中心的距离为 15cm 至 80cm。这时, CCD 摄像机 3 的镜头位于锥面反射镜 1 中心的正前方, CCD 摄像机 3 用于对隧道全景图像数据和罗盘方位图像数据进行采集。增量式旋转编码器 4 同轴套接固定在检测车后轮的转轴上, 在安装增量式旋转编码器 4 时, 调整增量式旋转编码器 4 和检测车后轮转轴的传动比, 使得车辆每前进 100mm, 增量式旋转编码器便产生 100 个脉冲信号。增量式旋转编码器 4 用于实时采集检测车的行驶速度, 并用于将采集的数据以周期性的脉冲信号的形式发送出去。在检测车 8 内设置有机柜 7, 在机柜 7 内固定有脉冲计数器 5 和工控机 6。

[0031] 参照图 2, 为本发明的一种基于数字全景摄像的隧道检测装置的电路连接示意图。脉冲计数器 5 的输入端电连接增量式旋转编码器 4, 脉冲计数器 5 的输出端电连接 CCD 摄像机 3 的控制端, CCD 摄像机 3 通过网线电连接工控机 6 的网络接口。增量式旋转编码器 4 将检测车当前的行驶速度转换成周期性的脉冲信号后发送给脉冲计数器 5, 脉冲计数器 5 记录该脉冲信号数, 并每 100 个脉冲信号数便发送一个触发信号给 CCD 摄像机 3, CCD 摄像机 3 每接收到一个触发信号便采集一次隧道全景图像和罗盘方位图像数据, CCD 摄像机采集完图像数据后实时将图像数据存储在高性能的工控机 6 中。工控机 6 根据图像数据, 采用图像处理方法, 识别并对隧道的质量进行分析。

[0032] 参照图 3, 为本发明的一种基于数字全景摄像的隧道检测方法的流程示意图。该基于数字全景摄像的隧道检测方法包括以下步骤:

[0033] CCD 摄像机标定: 制作标定板, 标定板上设置标定图像, 多次将标定板放置在检测车前方, 每次标定板所处的位置均不同, 且每次标定板均处在锥面反射镜的成像范围之内; 每次将标定板放置完成后, CCD 摄像机拍摄锥面反射镜中的图像, 利用采集的图像数据进行 CCD 摄像机标定, 得到 CCD 摄像机的内参数、CCD 摄像机的外参数、以及 CCD 摄像机内外参数的对应关系。标定板的制作方法可以多种多样, 例如, 在一张白纸上建立二维直角坐标系, 并在白纸上绘制黑白相间的正方形(正方形的边长为 10cm), 形成标定纸。对 CCD 摄像机进行标定时, 将标定板放置在检测车前方的若干不同区域, 并让 CCD 摄像机拍摄锥面反射镜中的图像, 然后将这些图像导入到数学处理软件 MATLAB2007 中进行标定。在数学处理软件 MATLAB2007 中, 导入上述图像后, 手动选择出原点 O, Y 轴及 X 轴以及正方形的边长 10cm, 对每幅图像进行处理完成后就得到 CCD 摄像机的内参数、CCD 摄像机的外参数、以及 CCD 摄像机内外参数的对应关系。

[0034] 设定检测车初始行驶速度: 将隧道图像的设定采样距离乘以 CCD 摄像机的采样频率, 得到设定的检测车初始行驶速度。具体地说, 为了提高隧道图像采集的精度, 将隧道图像的设定采样距离设为 100mm (即设定每隔 100mm, CCD 摄像机便进行一次拍摄), 如果 CCD 摄像机的采样频率为 100fps, 此时, 设定的检测车初始行驶速度  $v$  为:

[0035]  $v = D * f = 100 \times 10^{-3} * 100 = 10 \text{m/s}$

[0036] 产生图像采集触发信号: 驾驶检测车沿隧道中心线从隧道入口处向隧道出口处行驶, 驾驶检测车的初始行驶速度为设定的检测车初始行驶速度。增量式旋转编码器实时将生成的脉冲信号发送至脉冲计数器; 脉冲计数器每隔  $N$  个计数值便发送一个触发信号至 CCD 摄像机,  $N$  为大于 1 的自然数, 例如,  $N$  取 100。

[0037] 图像数据采集: CCD 摄像机收到触发信号后, 便实时对锥面反射镜和磁罗盘进行拍摄, 采集锥面反射镜中的隧道图像数据和磁罗盘的罗盘方位图像数据; CCD 将采集到的隧道图像数据和罗盘方位图像数据实时发送至工控机。

[0038] 获得局部隧道平面展开图: 当检测车行驶完隧道全程后, 工控机根据镜头光学成像原理、CCD 摄像机的内参数、以及 CCD 摄像机的外参数, 对存储的所有隧道图像数据和所有罗盘方位图像数据进行坐标转换, 将存储的所有隧道图像数据和所有罗盘方位图像数据从摄像机坐标系(三维坐标系)转换至世界坐标系(三维坐标系)。然后工控机根据每一份隧道图像数据以及与之对应的罗盘方位图像数据, 得到一幅对应的局部隧道平面展开图。例如, 工控机采用逆还原变换算法, 对所有接收到的图像数据进行处理, 其具体过程如下: 参照图 4, 为本发明的逆还原变换算法的第一示意图; 参照图 5, 为本发明的逆还原变换算法的第二示意图。对于一段隧道内壁来说, 可以将其近似看为一段半径为  $r$ , 高为  $h$  的半圆柱面(该半圆柱面的底面圆心为原点,  $r$  和  $h$  根据锥面反射镜的成像范围进行确定), 假设半圆柱面上的一点  $P(x, y, z)$ , 其在  $XOY$  平面上的投影与  $X$  轴的夹角为  $\alpha$ , 则

$$[0039] \quad \begin{cases} x = r \cos \alpha \\ y = r \sin \alpha \\ \alpha \in [0, 2\pi] \end{cases}$$

[0040] 半圆柱面在锥面反射镜上成像, 经摄像机采集后呈半圆环状, 半圆环的内弧与半圆柱面顶面圆弧相对应, 半圆环的外弧与半圆柱面的底面圆弧相对应。沿着半圆环的径向变化反映了半圆柱面的轴向变化, 即  $z$  轴方向的变化。

[0041] 此时, 可以设定极坐标系, 其极轴与  $x$  轴同向, 圆环的内、外圆半径分别设为  $r_1, r_2$ ,  $P'$  为  $P$  点在全景图像中的点, 将它的极坐标设为  $(\rho', \alpha')$ , 则

$$[0042] \quad \begin{cases} \alpha' = \alpha \\ \rho' = r_2 + \frac{z}{h}(r_1 - r_2) \end{cases}$$

[0043] 其中,  $z$  的取值范围为 0 至  $h$ , 因此, 已知全景图像上的点  $P'(\rho', \alpha')$ , 可以根据以下公式得到唯一的确定出圆柱面上的点  $P(x, y, z)$ , 即:

$$[0044] \quad \begin{cases} x = r \cos \alpha' \\ y = r \sin \alpha' \\ z = \frac{\rho' - r_2}{r_1 - r_2} h \end{cases}$$

[0045] 图像拼接与隧道质量检测: 对所有局部隧道平面展开图进行拼接, 得到完整隧道平面展开图(例如采用图像识别算法); 根据完整隧道平面展开图, 对隧道质量进行检测, 例如, 对隧道的裂缝, 变形等状况进行识别和检测, 从而得出隧道的综合状况。

[0046] 本发明实施例的基本原理是：当检测车以设定的速度在所需检测的隧道中行驶时，锥面反射镜可以将隧道图像反射成为平面图像；磁罗盘可以实时的指示全景图像的方位信息；高速 CCD 摄像机实时的采集隧道图像和罗盘方位图像，并将所采集的图像数据实时发送给工控机进行存储。工控机根据所存储的隧道全景图像数据和罗盘方位图像数据，将隧道的全景图像变换为隧道平面展开图；最后对隧道的平面展开图进行数字分析和处理，从而准确地获得隧道综合状况的定量信息，例如，衬砌变形大小、裂隙的隙宽、路面的平等度等状况。

[0047] 显然，本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样，倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则本发明也意图包含这些改动和变型在内。



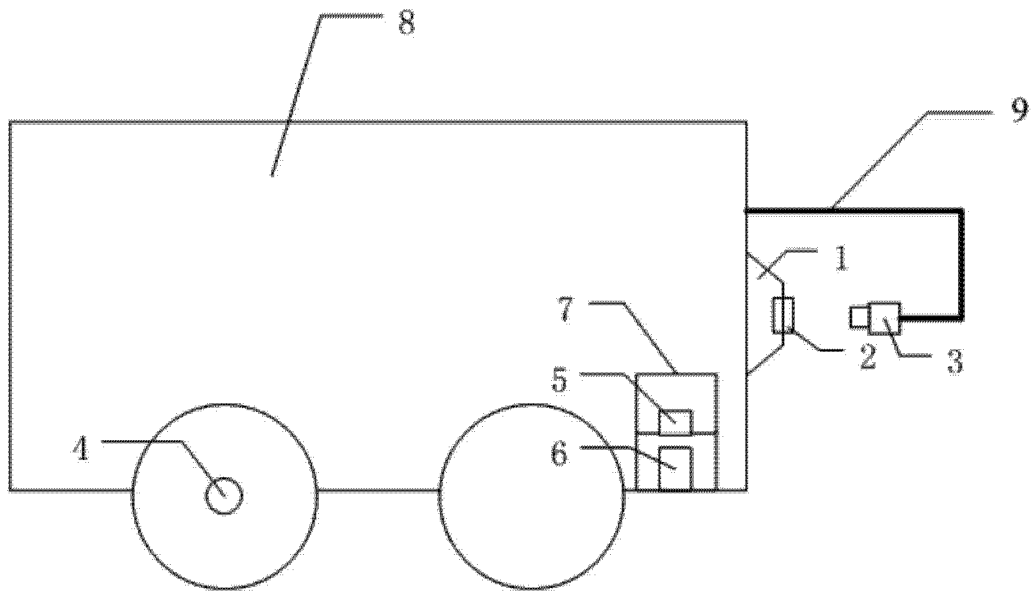


图 1

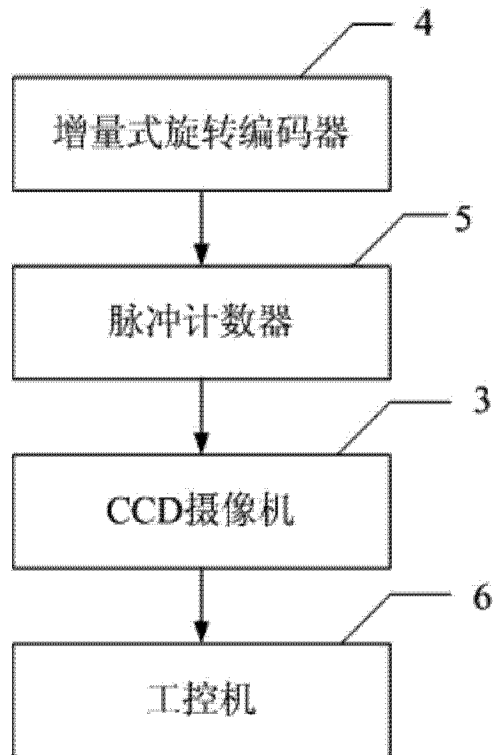


图 2

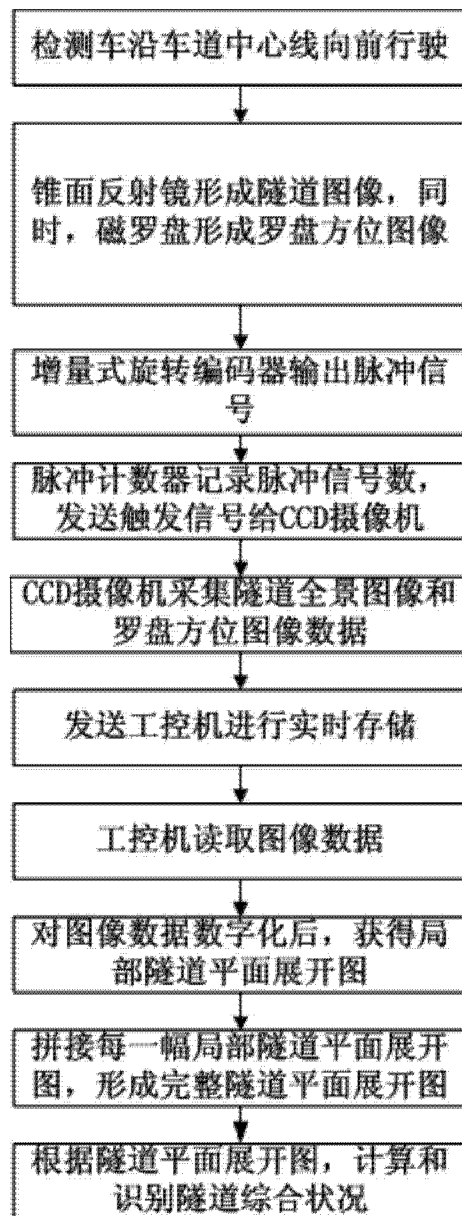


图 3

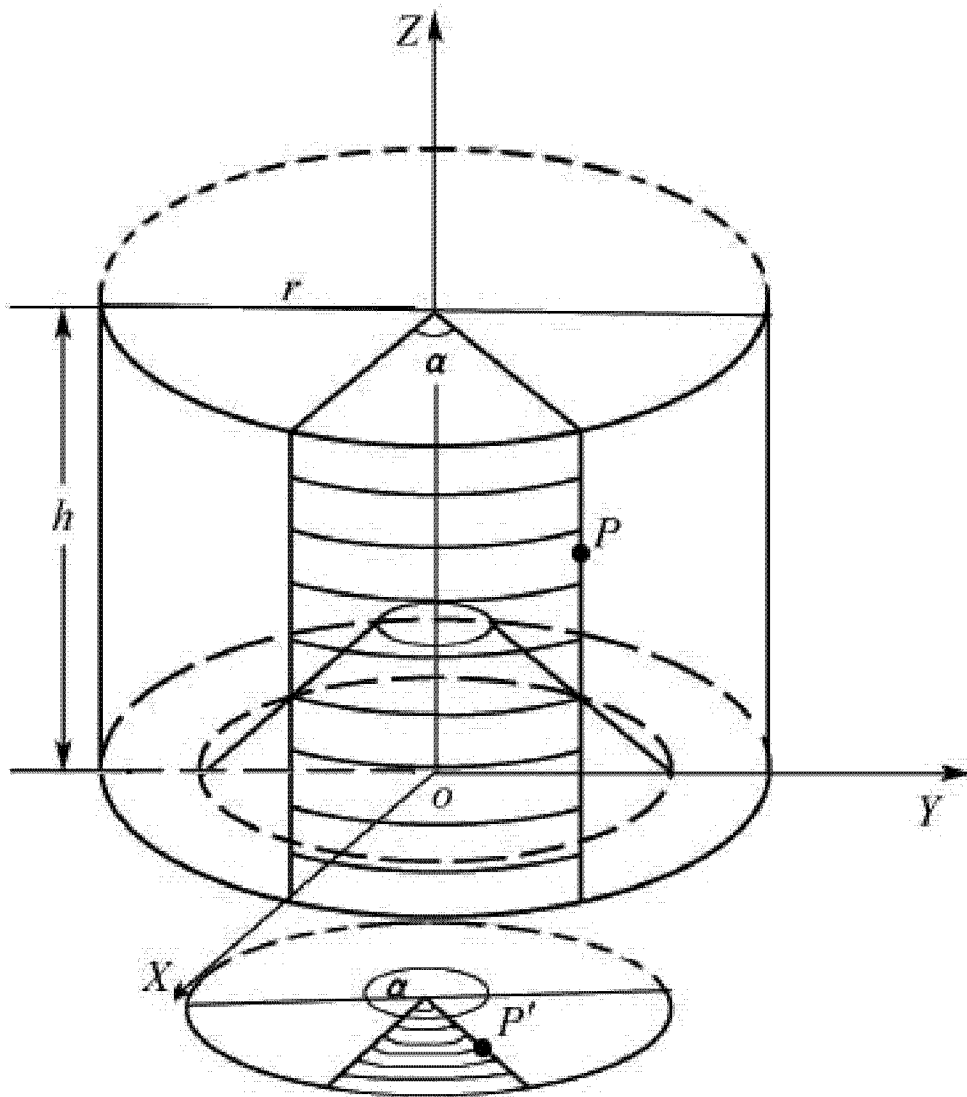


图 4

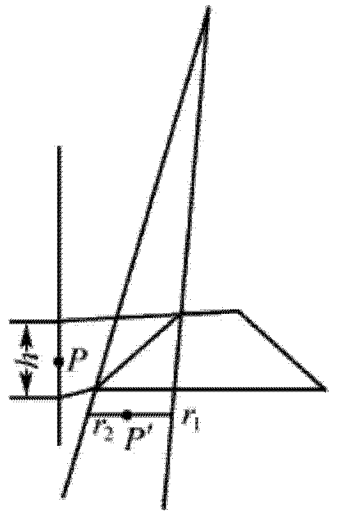


图 5