



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105292181 A

(43) 申请公布日 2016. 02. 03

(21) 申请号 201510781476. 8

(22) 申请日 2015. 11. 13

(71) 申请人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市孝陵卫 200 号

(72) 发明人 邢宗义 王露 陈双 王贵 蒋杰

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心

32203

代理人 朱显国

(51) Int. Cl.

B61K 9/12(2006. 01)

G01B 11/10(2006. 01)

权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法
及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法及装置。该装置包括：沿着列车前进方向，在轨道内侧依次设置第一激光位移传感器、电涡流位移传感器、第二激光位移传感器；轨道外侧的第三激光位移传感器与第二激光位移传感器关于二者之间的轨道对称；电涡流位移传感器位于轮缘顶点正下方。方法为：关于轨道对称布置的两个激光位移传感器探测获取车轮踏面轮廓线，通过提取的踏面轮廓线按几何关系计算出轮缘高与轮缘厚；位于轨道内侧的两个激光传感器和一个涡流传感器探测获取轮缘顶点圆周上三点的坐标，结合轮缘高按几何关系计算车轮直径。本发明具有测量原理简单、实用性强、成本低的优点，能够实现非接触式的高精度测量。



1. 一种基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤 1, 布设传感器:沿着列车前进方向,在轨道内侧依次设置第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2;第三激光位移传感器 S3 设置于轨道外侧,且第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 关于二者之间的轨道对称;电涡流位移传感器 P 位于轮缘顶点正下方;

步骤 2, 坐标变换、数据融合:第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 同时探测车轮输出探测点坐标后,通过坐标变换和坐标平移将第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 同一时刻的输出点融合到同一坐标系上,融合后的点即为踏面轮廓线上的离散点,根据踏面轮廓外形几何关系计算出轮缘高 h、轮缘厚 d;

步骤 3, 提取轮缘顶点圆周上三点的坐标:当车轮通过轨道内侧的第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 时,提取电涡流位移传感器 P 检测到的有效探测数据,并提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 在同一时刻的探测数据,将所提取的探测数据进行坐标变换得到踏面轮廓上的离散点,根据踏面轮廓外形分别提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 对应的轮缘顶点的纵坐标,处理得到轮缘顶点圆周上三点的坐标;

步骤 4, 计算车轮直径:根据步骤 3 得到的轮缘顶点圆周上三点的坐标由几何关系计算轮缘顶点圆直径 D_r ,再结合步骤 2 得到的轮缘高 h 计算车轮直径 D。

2. 根据权利要求 1 所述的基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法,其特征在于,步骤 1 所述的第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 均采用基于三角测量原理的 2D 激光位移传感器;其中第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 至轨道的垂直距离分别为 l_1 、 l_2 、 l_3 , l_1 、 l_2 、 l_3 的范围均为 100mm ~ 450mm;第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与铅垂线的夹角分别为 β_1 、 β_2 、 β_3 , β_1 、 β_2 、 β_3 的范围均为 $25^\circ \sim 65^\circ$;第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与沿轨道方向的直线夹角分别为 α_1 、 α_2 、 α_3 , α_1 、 α_2 、 α_3 的范围均为 $15^\circ \sim 65^\circ$;其中 l_2 与 l_3 相等, β_2 与 β_3 相等, α_2 与 α_3 相等;所述第一激光位移传感器 S1 与电涡流位移传感器 P 之间的距离为 l_4 ;电涡流位移传感器 P 与第二激光位移传感器 S2 之间的距离为 l_5 ; l_4 、 l_5 的范围均为 300mm ~ 550mm。

3. 根据权利要求 1 所述的基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法,其特征在于,步骤 2 所述坐标变换、数据融合,具体步骤如下:

(2.1) 第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 同时探测车轮输出探测点坐标,所述探测点坐标以激光发射方向的中心线为 y 轴、垂直于激光发射方向的中心线为 x 轴、激光源为坐标原点;

(2.2) 对轨道内侧的第二激光位移传感器 S2 输出的二维坐标值 $(x_n^{(2)}, y_n^{(2)})$ 根据以下公式进行坐标变换得 $(u_n^{(2)}, v_n^{(2)})$:

$$u_n^{(2)} = \sqrt{x_n^{(2)2} + y_n^{(2)2}} \sin(\theta' - \beta_2)$$

$$v_n^{(2)} = \sqrt{x_n^{(2)2} + y_n^{(2)2}} \cos(\theta' - \beta_2)$$

对轨道外侧的第三激光位移传感器 S3 输出的二维坐标值 $(x_n^{(3)}, y_n^{(3)})$ 根据以下公式进行坐标变换得 $(u_n^{(3)}, v_n^{(3)})$:

$$u_n^{(3)} = \sqrt{x_n^{(3)^2 + y_n^{(3)^2}} \sin(\theta + \beta_3)$$

$$v_n^{(3)} = \sqrt{x_n^{(3)^2 + y_n^{(3)^2}} \cos(\theta + \beta_3)$$

其中, θ' 为 $(x_n^{(2)}, y_n^{(2)})$ 与原始坐标系纵坐标的夹角、 θ 为 $(x_n^{(3)}, y_n^{(3)})$ 与原始坐标系纵坐标的夹角, β_2 为第二激光位移传感器 S2 与铅垂线的夹角、 β_3 为第三激光位移传感器 S3 与铅垂线的夹角, $(u_n^{(2)}, v_n^{(2)})$ 、 $(u_n^{(3)}, v_n^{(3)})$ 为原始坐标进行坐标变换后所得坐标系内的坐标值;

(2.3) 根据以下公式, 将坐标变换后的两组数据进行融合:

$$u_n^{(0)} = u_n^{(3)} + a \quad u_n^{(0)} = u_n^{(2)}$$

$$v_n^{(0)} = v_n^{(3)} + b \quad v_n^{(0)} = v_n^{(2)}$$

其中, (a, b) 为第三激光位移传感器 S3 的原始坐标原点在第二激光位移传感器 S2 坐标变换后的坐标系中的坐标值, $(u_n^{(0)}, v_n^{(0)})$ 为 $(x_n^{(2)}, y_n^{(2)})$ 、 $(x_n^{(3)}, y_n^{(3)})$ 在融合坐标系中的坐标值;

根据轮对尺寸的定义, 由融合后的踏面轮廓离散点得到轮缘高 h 、轮缘厚 d 。

4. 根据权利要求 1 所述的基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法, 其特征在于, 步骤 3 所述提取轮缘顶点圆周上三点的坐标, 具体如下:

(3.1) 当车轮通过轨道内侧的第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 时, 提取电涡流位移传感器 P 检测到的有效探测数据 L_2 , 并提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 在同一时刻的探测数据;

(3.2) 将所提取的探测数据进行坐标变换得到踏面轮廓上的离散点, 坐标变换方法为权利要求 3 中所述的激光位移传感器的坐标变换方法, 坐标变换后的数据点即为部分踏面轮廓上的离散点, 根据踏面轮廓外形分别提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 对应的轮缘顶点的纵坐标 L_1 、 L_3 ;

(3.3) 确定轮缘顶点圆周上三点的坐标: 以第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 的激光面的中心线的交点为原点建立坐标系 XOY, 该坐标系所在的面垂直于水平面且平行于车轮端面, 所述的轮缘顶点圆周上三点的坐标的计算公式为:

$$p_{c_1} = x_1 - L_1 \sin \alpha_1, q_{c_1} = y_1 + L_1 \cos \alpha_1$$

$$p_{c_2} = x_2, q_{c_2} = y_2 + L_2$$

$$p_{c_3} = x_3 + L_3 \sin \alpha_3, q_{c_3} = y_3 + L_3 \cos \alpha_3$$

其中, (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 分别为第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 在坐标系 XOY 中所在位置的坐标; (p_{c_1}, q_{c_1}) 、 (p_{c_2}, q_{c_2}) 、 (p_{c_3}, q_{c_3}) 分别为第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 检测到的轮缘顶点圆周上三点的坐标。

5. 根据权利要求 1 所述的基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法, 其特征在于, 步骤 4 所述计算车轮直径, 具体步骤如下:

(4.1) 计算轮缘顶点圆的圆心坐标 (p_0, q_0) , 公式为:

$$\begin{cases} p_0 = \frac{(q_{c_1} - q_{c_3})(p_{c_1}^2 - p_{c_2}^2 + q_{c_1}^2 - q_{c_2}^2) - (q_{c_1} - q_{c_2})(p_{c_1}^2 - p_{c_3}^2 + q_{c_1}^2 - q_{c_3}^2)}{2(p_{c_1} - p_{c_2})(q_{c_1} - q_{c_3}) - 2(p_{c_1} - p_{c_3})(q_{c_1} - q_{c_2})} \\ q_0 = \frac{(p_{c_1} - p_{c_2})(p_{c_1}^2 - p_{c_3}^2 + q_{c_1}^2 - q_{c_2}^2) - (p_{c_1} - p_{c_3})(p_{c_1}^2 - p_{c_2}^2 + q_{c_1}^2 - q_{c_2}^2)}{2(p_{c_1} - p_{c_2})(q_{c_1} - q_{c_3}) - 2(p_{c_1} - p_{c_3})(q_{c_1} - q_{c_2})} \end{cases}$$

其中, (p_{c_1}, q_{c_1}) 、 (p_{c_2}, q_{c_2}) 、 (p_{c_3}, q_{c_3}) 分别为第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 检测到的轮缘顶点圆周上三点的坐标;

(4.2) 计算轮缘顶点圆的直径 D_r , 公式为:

$$D_r = 2 \cdot \sqrt{(p_0 - p_{c_1})^2 + (q_0 - q_{c_1})^2}$$

(4.3) 结合步骤 2 所得轮缘高 h 即可得车轮直径 D 为:

$$D = D_r - 2h.$$

6. 一种基于两种传感器的轮对尺寸在线检测装置, 其特称在于, 沿着列车前进方向, 在轨道内侧依次设置第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2; 第三激光位移传感器 S3 设置于轨道外侧, 且第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 关于二者之间的轨道对称; 电涡流位移传感器 P 位于轮缘顶点正下方。

7. 根据权利要求 6 所述的基于两种传感器的轮对尺寸在线检测装置, 其特称在于, 所述的第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 均采用基于三角测量原理的 2D 激光位移传感器。

8. 根据权利要求 6 所述的基于两种传感器的轮对尺寸在线检测装置, 其特称在于, 所述第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 至轨道的垂直距离分别为 l_1 、 l_2 、 l_3 , l_1 、 l_2 、 l_3 的范围均为 100mm ~ 450mm; 第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与铅垂线的夹角分别为 β_1 、 β_2 、 β_3 , β_1 、 β_2 、 β_3 的范围均为 $25^\circ \sim 65^\circ$; 第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与沿轨道方向的直线夹角分别为 α_1 、 α_2 、 α_3 , α_1 、 α_2 、 α_3 的范围均为 $15^\circ \sim 65^\circ$; 其中 l_2 与 l_3 相等, β_2 与 β_3 相等, α_2 与 α_3 相等。

9. 根据权利要求 6 所述的基于两种传感器的轮对尺寸在线检测装置, 其特称在于, 所述第一激光位移传感器 S1 与电涡流位移传感器 P 之间的距离为 l_4 ; 电涡流位移传感器 P 与第二激光位移传感器 S2 之间的距离为 l_5 ; l_4 、 l_5 的范围均为 300mm ~ 550mm。

一种基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法及装置

技术领域

[0001] 本发明属于交通安全工程技术领域,特别是一种基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法及装置。

背景技术

[0002] 随着我国城市轨道交通的快速发展,列车的运行速度越来越快,其在线运行的安全问题也日益突出。轮对作为城轨列车的重要部件,在列车走行过程中起着导向、承受以及传递载荷的作用,其健康状态对列车安全运行起着至关重要的作用。列车运行过程中,轮对与钢轨表面不断产生摩擦,导致轮对直径变小以及踏面磨损。此外,列车运行通过弯道时,车轮轮缘与轨道内侧面发生摩擦会导致轮缘磨耗,踏面磨耗及轮缘磨耗直接导致轮对尺寸变化,对乘客乘坐舒适性及安全性产生重大影响。因此,针对车轮轮缘和轮径等轮对尺寸在线检测成为保障列车安全运行的重要基础。

[0003] 对于轮对尺寸的在线检测技术,主要有图像测量法,振动测量法以及激光测量法。目前国内普遍采用基于激光测距和图像测量的轮对尺寸检测方法。唐戌等人采用激光器和面阵 CCD 摄像机实现了轮对几何参数的自动检测系统,但由于车轮踏面磨损光滑度高,反光现象强烈,使得数字图像中轮缘边缘模糊,给检测带来难度;胡波提出了一种基于 PSD 的激光位移测量技术的轮对尺寸动态监测系统,具有实时性强、分辨率高的特点,但系统所需传感器多,对安装要求高且价格昂贵;中国专利 CN103693073A(一种非接触式车轮直径动态测量装置及其测量方法,申请号 201410005647.3,申请日:2014-01-06)公开了一种车轮直径动态测量装置及其测量方法,该方法用两个涡流传感器和一个激光位移传感器对车轮直径进行检测,其中两个涡流传感器仅实现车轮的定位,在车轮直径的计算中没有涉及到涡流传感器测量的距离读数,且仅用一个激光位移传感器测量踏面对应滚动圆上一点的距离,这种检测方法在车轮滚动的过程中测量不稳定,会降低测量精度。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种简便高效、成本低的基于多种传感器的轮对尺寸在线检测方法和装置,能够实现非接触式的高精度检测。

[0005] 实现本发明目的的技术解决方案是:一种基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤 1, 布设传感器:沿着列车前进方向,在轨道内侧依次设置第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2;第三激光位移传感器 S3 设置于轨道外侧,且第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 关于二者之间的轨道对称;电涡流位移传感器 P 位于轮缘顶点正下方;

[0007] 步骤 2, 坐标变换、数据融合:第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 同时探测车轮输出探测点坐标后,通过坐标变换和坐标平移将第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 同一时刻的输出点融合到同一坐标系上,融合后的点即为踏面轮廓线

上的离散点,根据踏面轮廓外形几何关系计算出轮缘高 h 、轮缘厚 d ;

[0008] 步骤 3,提取轮缘顶点圆周上三点的坐标:当车轮通过轨道内侧的第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 时,提取电涡流位移传感器 P 检测到的有效探测数据,并提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 在同一时刻的探测数据,将所提取的探测数据进行坐标变换得到踏面轮廓上的离散点,根据踏面轮廓外形分别提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 对应的轮缘顶点的纵坐标,处理得到轮缘顶点圆周上三点的坐标;

[0009] 步骤 4,计算车轮直径:根据步骤 3 得到的轮缘顶点圆周上三点的坐标由几何关系计算轮缘顶点圆直径 D_r ,再结合步骤 2 得到的轮缘高 h 计算车轮直径 D 。

[0010] 一种基于两种传感器的轮对尺寸在线检测装置,沿着列车前进方向,在轨道内侧依次设置第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2;第三激光位移传感器 S3 设置于轨道外侧,且第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 关于二者之间的轨道对称;电涡流位移传感器 P 位于轮缘顶点正下方。

[0011] 本发明与现有技术相比,其显著优点在于:(1) 成本低、原理简单且便于操作,测量装置只需要三个激光位移传感器和一个电涡流位移传感器即可实现对车轮的轮缘厚、轮缘高及轮径等轮对尺寸的检测工作。(2) 具有在线非接触测量等优点,为实现轮对尺寸在线检测提供了新的解决方案。

附图说明

[0012] 图 1 是本发明基于两种传感器的轮对尺寸在线检测装置的结构示意图。

[0013] 图 2 是本发明第一激光位移传感器与车轮之间的安装角度 β_1 的示意图。

[0014] 图 3 是本发明第二、三激光位移传感器与车轮之间的安装角度 β_2 、 β_3 的示意图。

[0015] 图 4 是本发明三个激光位移传感器与沿轨道方向的直线夹角 α_1 、 α_2 、 α_3 的示意图。

[0016] 图 5 是本发明中经坐标变换、数据融合后的踏面数据点。

[0017] 图 6 是本发明中车轮直径在线检测装置的工作原理示意图。

具体实施方案

[0018] 本发明是基于两种传感器的轮对尺寸在线检测系统,首先通过激光位移传感器得出轮缘高和轮缘厚,再配合一个电涡流位移传感器根据几何关系得出车轮直径。

[0019] 下面结合附图及具体实例对本发明作进一步详细说明。

[0020] 结合图 1,本发明基于两种传感器的轮对尺寸在线检测装置,沿着列车前进方向,在轨道内侧依次设置第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2;第三激光位移传感器 S3 设置于轨道外侧,且第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 关于二者之间的轨道对称;电涡流位移传感器 P 位于轮缘顶点正下方。

[0021] 结合图 2~4,所述第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 至轨道的垂直距离分别为 l_1 、 l_2 、 l_3 , l_1 、 l_2 、 l_3 的范围均为 100mm~450mm;第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与铅垂线的夹角分别为 β_1 、 β_2 、 β_3 , β_1 、 β_2 、 β_3 的范围均为 $25^\circ \sim 65^\circ$;第一激光位移传感器 S1、第二激光

位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与沿轨道方向的直线夹角分别为 α_1 、 α_2 、 α_3 ， α_1 、 α_2 、 α_3 的范围均为 $15^\circ \sim 65^\circ$ ；其中 l_2 与 l_3 相等， β_2 与 β_3 相等， α_2 与 α_3 相等。

[0022] 如图 2 所示， β_1 为第一激光位移传感器 S1 与铅垂线的夹角；如图 3 所示， β_2 为第二激光位移传感器 S2 与铅垂线的夹角， β_3 为第三激光位移传感器 S3 与铅垂线的夹角，且 β_2 与 β_3 相等；如图 4 所示， α_1 为第一激光位移传感器 S1 与沿轨道方向的直线夹角， α_2 为第二激光位移传感器 S2 与沿轨道方向的直线夹角， α_3 为第三激光位移传感器 S3 与沿轨道方向的直线夹角，且 α_2 与 α_3 相等。

[0023] 所述第一激光位移传感器 S1 与电涡流位移传感器 P 之间的距离为 l_4 ；电涡流位移传感器 P 与第二激光位移传感器 S2 之间的距离为 l_5 ； l_4 、 l_5 的范围均为 $300\text{mm} \sim 550\text{mm}$ 。

[0024] 结合图 2 ~ 5，本发明基于两种传感器的轮对尺寸在线检测方法，包括以下步骤：

[0025] 步骤 1，布设传感器：沿着列车前进方向，在轨道内侧依次设置第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2；第三激光位移传感器 S3 设置于轨道外侧，且第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 关于二者之间的轨道对称；电涡流位移传感器 P 位于轮缘顶点正下方。

[0026] 步骤 2，坐标变换、数据融合：第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 同时探测车轮输出探测点坐标后，通过坐标变换和坐标平移将第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 同一时刻的输出点融合到同一坐标系上，融合后的点即为踏面轮廓线上的离散点，如图 5 所示，根据踏面轮廓外形几何关系计算出轮缘高 h 、轮缘厚 d ；具体步骤如下：

[0027] (2.1) 第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 同时探测车轮输出探测点坐标，所述探测点坐标以激光发射方向的中心线为 y 轴、垂直于激光发射方向的中心线为 x 轴、激光源为坐标原点；

[0028] (2.2) 对轨道内侧的第二激光位移传感器 S2 输出的二维坐标值 $(x_n^{(2)}, y_n^{(2)})$ 根据以下公式进行坐标变换得 $(u_n^{(2)}, v_n^{(2)})$ ：

$$[0029] \quad u_n^{(2)} = \sqrt{x_n^{(2)2} + y_n^{(2)2}} \sin(\theta' - \beta_2)$$

$$[0030] \quad v_n^{(2)} = \sqrt{x_n^{(2)2} + y_n^{(2)2}} \cos(\theta' - \beta_2)$$

[0031] 对轨道外侧的第三激光位移传感器 S3 输出的二维坐标值 $(x_n^{(3)}, y_n^{(3)})$ 根据以下公式进行坐标变换得 $(u_n^{(3)}, v_n^{(3)})$ ：

$$[0032] \quad u_n^{(3)} = \sqrt{x_n^{(3)2} + y_n^{(3)2}} \sin(\theta + \beta_3)$$

$$[0033] \quad v_n^{(3)} = \sqrt{x_n^{(3)2} + y_n^{(3)2}} \cos(\theta + \beta_3)$$

[0034] 其中， θ' 为 $(x_n^{(2)}, y_n^{(2)})$ 与原始坐标系纵坐标的夹角、 θ 为 $(x_n^{(3)}, y_n^{(3)})$ 与原始坐标系纵坐标的夹角， β_2 为第二激光位移传感器 S2 与铅垂线的夹角、 β_3 为第三激光位移传感器 S3 与铅垂线的夹角， $(u_n^{(2)}, v_n^{(2)})$ 、 $(u_n^{(3)}, v_n^{(3)})$ 为原始坐标进行坐标变换后所得坐标系内的坐标值；

[0035] (2.3) 根据以下公式，将坐标变换后的两组数据进行融合：

$$[0036] \quad u_n^{(0)} = u_n^{(3)} + a \quad u_n^{(0)} = u_n^{(2)}$$

$$[0037] \quad v_n^{(0)} = v_n^{(3)} + b \quad v_n^{(0)} = v_n^{(2)}$$

[0038] 其中, (a, b) 为第三激光位移传感器 S3 的原始坐标原点在第二激光位移传感器 S2 坐标变换后的坐标系中的坐标值, $(u_n^{(0)}, v_n^{(0)})$ 为 $(x_n^{(2)}, y_n^{(2)})$ 、 $(x_n^{(3)}, y_n^{(3)})$ 在融合坐标系中的坐标值;

[0039] 根据轮对尺寸的定义,由融合后的踏面轮廓离散点得到轮缘高 h、轮缘厚 d。注释:这里的轮对尺寸的定义指轮缘高是由轮缘顶点到踏面基准点的高度得到,而轮缘厚是由基准点以下 10mm 处的点与端面的距离得到。

[0040] 步骤 3,提取轮缘顶点圆周上三点的坐标:当车轮通过轨道内侧的第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 时,提取电涡流位移传感器 P 检测到的有效探测数据,并提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 在同一时刻的探测数据,将所提取的探测数据进行坐标变换得到踏面轮廓上的离散点,根据踏面轮廓外形分别提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 对应的轮缘顶点的纵坐标,处理得到轮缘顶点圆周上三点的坐标;结合图 6 的工作原理,具体如下:

[0041] (3.1) 当车轮通过轨道内侧的第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 时,提取电涡流位移传感器 P 检测到的有效探测数据 L_2 ,并提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 在同一时刻的探测数据;

[0042] (3.2) 将所提取的探测数据进行坐标变换得到踏面轮廓上的离散点,坐标变换方法为权利要求 3 中所述的激光位移传感器的坐标变换方法,坐标变换后的数据点即为部分踏面轮廓上的离散点,根据踏面轮廓外形分别提取第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 对应的轮缘顶点的纵坐标 L_1 、 L_3 ;

[0043] (3.3) 确定轮缘顶点圆周上三点的坐标:以第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 的激光面的中心线的交点为原点建立坐标系 XOY,该坐标系所在的面垂直于水平面且平行于车轮端面,所述的轮缘顶点圆周上三点的坐标的计算公式为:

$$[0044] \quad p_{c_1} = x_1 - L_1 \sin \alpha_1, q_{c_1} = y_1 + L_1 \cos \alpha_1$$

$$[0045] \quad p_{c_2} = x_2, q_{c_2} = y_2 + L_2$$

$$[0046] \quad p_{c_3} = x_3 + L_3 \sin \alpha_3, q_{c_3} = y_3 + L_3 \cos \alpha_3$$

[0047] 其中, (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 分别为第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 在坐标系 XOY 中所在位置的坐标; (p_{c_1}, q_{c_1}) 、 (p_{c_2}, q_{c_2}) 、 (p_{c_3}, q_{c_3}) 分别为第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 检测到的轮缘顶点圆周上三点的坐标。

[0048] 步骤 4,计算车轮直径:根据步骤 3 得到的轮缘顶点圆周上三点的坐标由几何关系计算轮缘顶点圆直径 D_r ,再结合步骤 2 得到的轮缘高 h 计算车轮直径 D.,具体步骤如下:

[0049] (4.1) 计算轮缘顶点圆的圆心坐标 (p_0, q_0) ,公式为:

$$[0050] \quad \begin{cases} p_0 = \frac{(q_{c_1} - q_{c_3})(p_{c_1}^2 - p_{c_2}^2 + q_{c_1}^2 - q_{c_2}^2) - (q_{c_1} - q_{c_2})(p_{c_1}^2 - p_{c_3}^2 + q_{c_1}^2 - q_{c_3}^2)}{2(p_{c_1} - p_{c_2})(q_{c_1} - q_{c_3}) - 2(p_{c_1} - p_{c_3})(q_{c_1} - q_{c_2})} \\ q_0 = \frac{(p_{c_1} - p_{c_2})(p_{c_1}^2 - p_{c_3}^2 + q_{c_1}^2 - q_{c_2}^2) - (p_{c_1} - p_{c_3})(p_{c_1}^2 - p_{c_2}^2 + q_{c_1}^2 - q_{c_2}^2)}{2(p_{c_1} - p_{c_2})(q_{c_1} - q_{c_3}) - 2(p_{c_1} - p_{c_3})(q_{c_1} - q_{c_2})} \end{cases}$$

[0051] 其中, (p_{c_1}, q_{c_1}) 、 (p_{c_2}, q_{c_2}) 、 (p_{c_3}, q_{c_3}) 分别为第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 检测到的轮缘顶点圆周上三点的坐标;

[0052] (4.2) 计算轮缘顶点圆的直径 D_r , 公式为:

$$[0053] \quad D_r = 2 \cdot \sqrt{(p_0 - p_{c_1})^2 + (q_0 - q_{c_1})^2}$$

[0054] (4.3) 结合步骤 2 所得轮缘高 h 即可得车轮直径 D 为:

$$[0055] \quad D = D_r - 2h。$$

[0056] 上述的第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与轨道的相对安装距离 l_1 、 l_2 、 l_3 的范围均为 100mm ~ 450mm, 与铅垂线的夹角 β_1 、 β_2 、 β_3 的范围均为 $25^\circ \sim 65^\circ$, 与沿轨道方向的直线夹角 α_1 、 α_2 、 α_3 的范围均为 $15^\circ \sim 65^\circ$, 其中 l_2 与 l_3 相等, β_2 与 β_3 相等, α_2 与 α_3 相等; 所述的轨道内侧的第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2 与电涡流位移传感器 P 沿轨道方向的直线距离 l_4 、 l_5 的范围均为 300mm ~ 550mm。

[0057] 下面结合具体实施例对本发明作进一步详细说明。

[0058] 实施例 1

[0059] 结合图 1 ~ 5, 第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与轨道的垂直安装距离均为 300mm。第一激光位移传感器 S1、第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与铅垂线成 45° 角安装于轨道两侧, 则 β_1 、 β_2 、 β_3 为 45° ; 第一激光位移传感器 S1 与沿轨道方向的直线的夹角成 46° , 第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 与沿轨道方向的直线的夹角均为 44° , 则 α_1 为 46° , α_2 、 α_3 均为 44° 。激光位移传感器和电涡流位移传感器采样频率相同, 采样间隔为 5ms。

[0060] 车轮通过检测系统, 第二激光位移传感器 S2 和第三激光位移传感器 S3 共输出 9 组 (t_1, t_2, \dots, t_9) 有效数据, 将每个时刻内的探测点坐标值按下式进行坐标变换:

[0061]

$$u_n^{(2)} = \sqrt{x_n^{(2)^2} + y_n^{(2)^2}} \sin(\theta - 45^\circ) \quad v_n^{(2)} = \sqrt{x_n^{(2)^2} + y_n^{(2)^2}} \cos(\theta - 45^\circ)$$

[0062]

$$u_n^{(3)} = \sqrt{x_n^{(3)^2} + y_n^{(3)^2}} \sin(\theta + 45^\circ) \quad v_n^{(3)} = \sqrt{x_n^{(3)^2} + y_n^{(3)^2}} \cos(\theta + 45^\circ)$$

[0063] 第二激光位移传感器 S2 与第三激光位移传感器 S3 经坐标变换后的点按下式进行数据融合:

$$[0064] \quad u_n^{(0)} = u_n^{(3)} - 600 \quad u_n^{(0)} = u_n^{(2)}$$

$$[0065] \quad v_n^{(0)} = v_n^{(3)} + 32 \quad v_n^{(0)} = v_n^{(2)}$$

[0066] 图 5 为 t_5 时刻第二激光位移传感器 S2、第三激光位移传感器 S3 经坐标变换和数据融合后的数据点, 根据融合后的踏面数据点及踏面轮廓几何关系算出每个时刻数据融合后的轮缘高及轮缘厚, 结果如下表所示:

[0067]

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	平均值
轮缘高/mm	28.66	28.79	28.71	28.62	28.77	28.61	28.81	28.62	28.80	28.71
轮缘厚/mm	29.33	29.22	29.25	29.21	29.23	29.24	29.26	29.23	29.20	29.24

[0068] 取 9 组计算结果的平均值,则轮缘高为 28.71mm,轮缘厚为 29.24mm。

[0069] 车轮通过电涡流位移传感器 P 时,在电涡流位移传感器 P 的有效范围内能探测到 7 组有效数据值,提取出第 5 组有效测量的读数为 7.46mm,同时提取出该时刻对应的第一激光位移传感器 S1 和第二激光位移传感器 S2 的探测的数据点,分别经坐标变换后得到相应的车轮部分轮廓线,提取出的轮缘顶点的坐标的纵坐标值分别为 298.13mm、195.01mm。

[0070] 在图 6 中的坐标系 XOY 中,第一激光位移传感器 S1、电涡流位移传感器 P、第二激光位移传感器 S2 的坐标分别为 (488.91, -467.71), (-5, -443.25), (-478.44, -488.24), 则轮缘顶点圆周上三点的坐标为:

[0071]

$$\begin{cases} p_{c_1} = x_1 - L_1 \sin \alpha_1 = 281.80 \\ q_{c_1} = y_1 + L_1 \cos \alpha_1 = -262.27 \end{cases} \begin{cases} p_{c_2} = x_2 = -5 \\ q_{c_2} = y_2 + L_2 = -433.78 \end{cases} \begin{cases} p_{c_3} = x_3 + L_3 \sin \alpha_3 = -338.15 \\ q_{c_3} = y_3 + L_3 \cos \alpha_3 = -352.78 \end{cases}$$

[0072] 则由轮心计算公式可得轮心坐标为 (-73.17, 0.67), 则轮缘顶点圆直径为:

$$[0073] \quad D_r = 2 \cdot \sqrt{(p_0 - p_{c_1})^2 + (q_0 - q_{c_1})^2} = 883.49 \text{ mm}$$

[0074] 车轮直径为:

$$[0075] \quad D = D_r - 2h = 826.07 \text{ mm}$$

[0076] 因此,该车轮系统测量的轮缘厚为 29.24mm,轮缘高为 28.71,轮径为 826.07mm,根据人工测量该车轮的实际轮缘厚为 29.3mm,轮缘高为 28.9mm,轮径为 825.9mm,可见该方法满足现场实际测量要求。

[0077] 本发明通过三个激光位移传感器和一个电涡流位移传感器配合工作,实现了轮缘高、轮缘厚、轮径等轮对尺寸的非接触式在线检测,从而大大降低了系统成本。

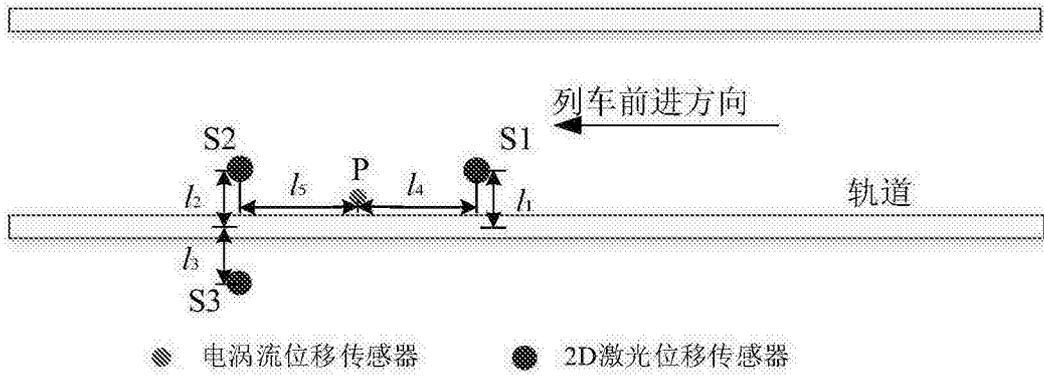


图 1

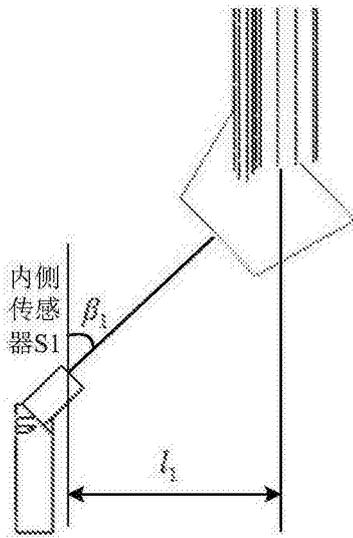


图 2

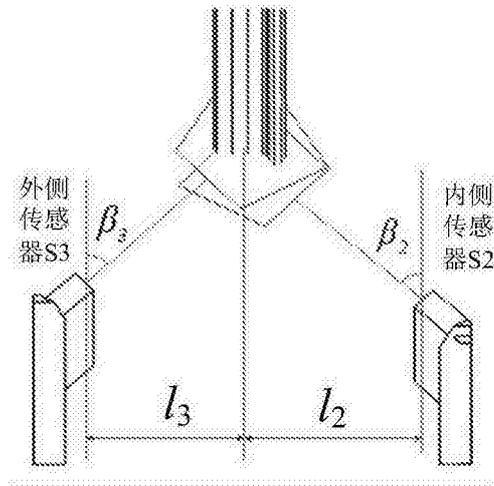


图 3

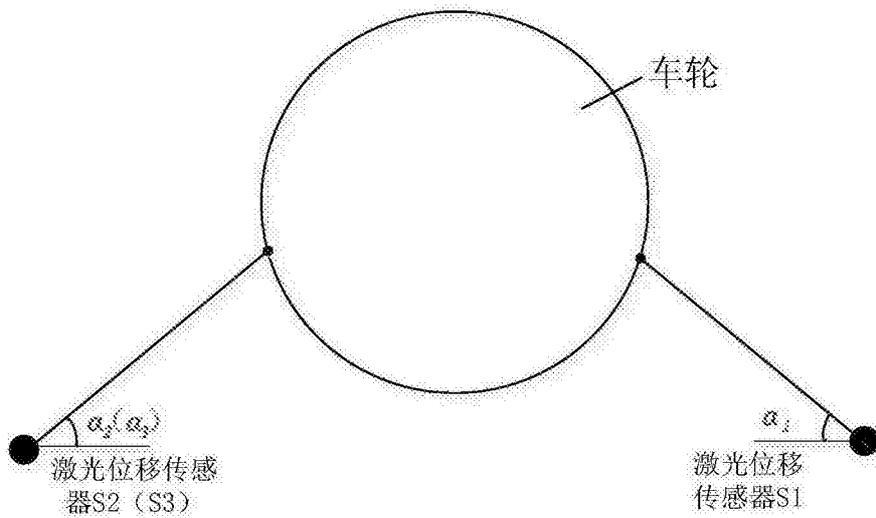


图 4

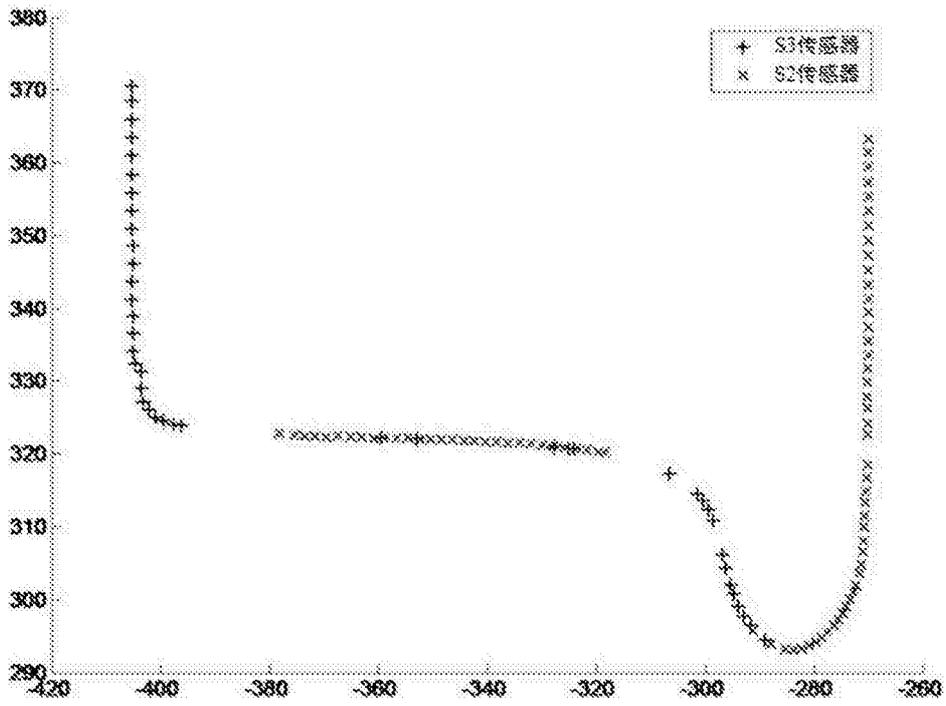


图 5

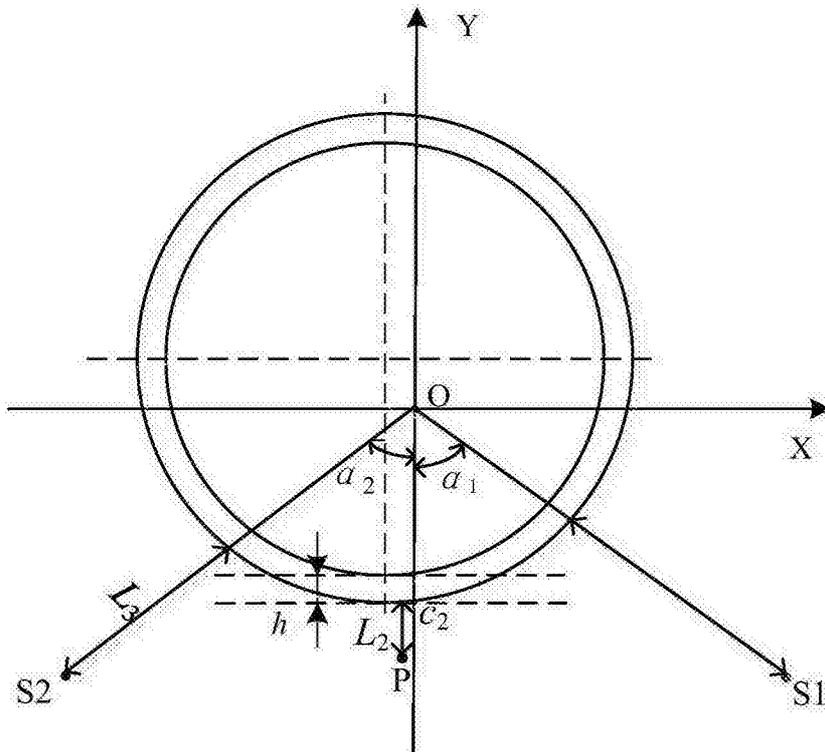


图 6