



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102602425 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 29

(21) 申请号 201210094303. 5

CN 102012223 A, 2011. 04. 13, 全文.

(22) 申请日 2012. 03. 29

胡庆武. 基于移动双目视觉的铁路建筑物限界快速自动检测方法. 《铁道学报》. 2012, 第 34 卷 (第 1 期), 全文.

(73) 专利权人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号

审查员 郑润玉

(72) 发明人 刘常杰 郝继贵 吴斌 任永杰

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代  
理事务所 12201

代理人 温国林

(51) Int. Cl.

B61K 9/02 (2006. 01)

B61K 9/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 202557556 U, 2012. 11. 28, 权利要求  
1-3.

EP 1544572 A2, 2005. 06. 22, 全文.

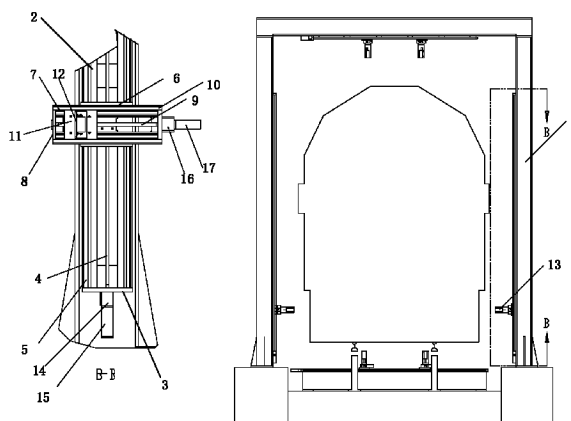
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

一种机车车辆限界系统及其标定方法

(57) 摘要

本发明公开了一种机车车辆限界系统及其标定方法,在移动平台的两端各安装平台支架,穿过平台支架安装有大丝杠,在移动平台上安装大导轨;大导轨上安装有第一平板,第一平板通过大丝杠的牵引在大导轨上运动;第一平板上装有移动底板,移动底板的两端各安装底板支架;在移动底板上安装有小丝杠和小导轨,在小导轨上安装有第二平板,第二平板通过小丝杠的牵引在小导轨上运动;第二平板上安装有L型支架,L型支架上安装有激光测距传感器;在平台支架上通过第一电机支架安装有大电机,大电机通过内部的连轴器与大丝杠配合实现传动;在底板支架上通过第二电机支架安装有小电机,小电机通过内部的连轴器与小丝杠配合实现传动。



1. 一种机车车辆限界系统,包括:门状支撑框架,其特征在于,在所述门状支撑框架的两侧立柱内侧面、上方横梁下端面及下方横梁上端面安装移动平台;在所述移动平台的两端各安装平台支架,穿过所述平台支架安装有大丝杠,在所述移动平台上安装大导轨;所述大导轨上安装有第一平板,所述第一平板通过所述大丝杠的牵引在所述大导轨上运动;所述第一平板上装有移动底板,所述移动底板的两端各安装底板支架;在所述移动底板上安装有小丝杠和小导轨,在所述小导轨上安装有第二平板,所述第二平板通过所述小丝杠的牵引在所述小导轨上运动;所述第二平板上安装有L型支架,所述L型支架上安装有激光测距传感器;在所述平台支架上通过第一电机支架安装有大电机,所述大电机通过内部的联轴器与所述大丝杠配合实现传动;在所述底板支架上通过第二电机支架安装有小电机,所述小电机通过内部的联轴器与所述小丝杠配合实现传动。

2. 根据权利要求1所述的一种机车车辆限界系统,其特征在于,所述移动平台由2块阶梯状平板构成。

3. 根据权利要求1所述的一种机车车辆限界系统,其特征在于,所述移动底板成阶梯状一体成型。

4. 一种用于权利要求1所述的一种机车车辆限界系统的标定方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

(1) 将一端有固定垂直位置关系另一端移动的卡规固定在平行铁轨上,获取并计算出所述平行铁轨第一上端面C1与第一内侧面C2的交线方程L;

其中,C1为 $A1x+B1y+C1z=1$ ,C2为 $A2x+B2y+C2z=1$ ,通过C1和C2计算出平行铁轨第一上端面C1与第一内侧面C2的交线方程L:

$$L = \begin{cases} A1x + B1y + C1z = 1 \\ A2x + B2y + C2z = 1 \end{cases}$$

(A1, B1, C1)为所述第一上端面C1的法向量;(A2, B2, C2)为所述第一内侧面C2的法向量;

(2) 将所述卡规固定端换到所述平行铁轨另一侧固定,重复执行步骤(1)获取所述平行铁轨第二上端面C1'与第二内侧面C2'的交线方程L';

$$L' = \begin{cases} A1'x + B1'y + C1'z = 1 \\ A2'x + B2'y + C2'z = 1 \end{cases}$$

其中,(A1', B1', C1')为所述第二上端面C1'的法向量;(A2', B2', C2')为所述第二内侧面C2'的法向量;(x, y, z)为L, L'上任意点坐标;

(3) 由所述交线方程L和L'确定所述平行铁轨上端面法向量,将平行铁轨上端面方程标定为平行铁轨坐标系的XOY面,再将平行铁轨第一内侧面C2与第二内侧面C2'的中分面 $A0'x+B0'y+C0'z=1$ 标定为XOZ面,将过任一所述激光测距传感器靶标座零点且与平行铁轨上端面XOY和中分面XOZ均垂直的第三平面标定 $A0''x+B0''y+C0''z=1$ 为YOZ平面;

其中,所述平行铁轨上端面法向量具体为:

$$(A0, B0, C0) = ((A1, B1, C1) \times (A2, B2, C2)) \times ((A1', B1', C1') \times (A2', B2', C2'))$$

所述平行铁轨上端面方程具体为: $A0x+B0y+C0z=1$ ;

(4) 通过坐标系的平移和旋转变换将跟踪仪坐标系变换到铁轨平面坐标系;

(5) 通过所述铁轨平面坐标系获取所述激光测距传感器靶标点初始位置并将其作为演算起点,通过上位机发送连续测量指令,使所述激光测距传感器常亮,移动所述激光测距传感器至预设高度,激光跟踪仪测量当前位置所述激光测距传感器上靶标点坐标以及光线方向上预设范围的坐标,由测量的预设范围的坐标拟合出光线方程,并计算出当前位置靶标点到光线的垂直偏移量;

(6) 通过所述上位机发送运动指令,将所述激光测距传感器移动到所述小丝杠的另一端,所述激光跟踪仪测量所述激光测距传感器运动过程中的预设范围靶标点坐标,再由所述上位机控制所述激光测距传感器回零,并控制所述激光测距传感器移动到所述大丝杠的另一端,同样测量所述激光测距传感器运动过程中预设范围的靶标点坐标,由两次测得的靶标点坐标分别拟合出所述小丝杠和所述大丝杠的方向矢量;

(7) 重复执行步骤(5)和步骤(6),获取其他5个激光测距传感器的初始位置靶标点坐标、当前位置靶标点到光线的垂直偏移量、光线方程中的光线矢量、所述小丝杠和所述大丝杠的方向矢量;

(8) 所述上位机处理标定参数,再将验证装置固定在三脚架上,通过所述上位机读取当前位置的激光点三维坐标,并用所述激光跟踪仪获取所述验证装置当前位置上的三个跟踪仪球座中心处的三维坐标值;

(9) 所述激光跟踪仪根据事先标定的所述验证装置标记点与三个跟踪仪球座中心处的几何位置关系和当前位置的三个激光跟踪仪球座中心处的三维坐标值获取标记点的三维坐标;

(10) 对所述机车车辆限界系统测出的标记点的三维坐标和所述激光跟踪仪测出的标记点的三维坐标进行比对,获取误差。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述将一端有固定垂直位置关系另一端移动的卡规固定在平行铁轨上,获取并计算出所述平行铁轨第一上端面C1与第一内侧面C2的交线方程L具体为:

将一端有固定垂直位置关系另一端移动的卡规固定在平行铁轨上,卡规下端面与外侧面分别与铁轨上端面和内侧面贴合,用激光跟踪仪标定出在激光跟踪仪坐标系下4个靶标座的坐标,根据预先标定过的4个靶标座与卡规下端面及外侧面的几何关系,获取卡规下端面的方程和外侧面的方程并计算出平行铁轨第一上端面C1与第一内侧面C2的交线方程L。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,坐标变换公式为  $(x', y', z', 1) = (x, y, z, 1) \times T(-x_0, -y_0, -z_0, 1) \times R$

其中  $(A_0', B_0', C_0') = (A_2 + A_2' / 2, B_2 + B_2' / 2, C_2 + C_2' / 2)$ ,

$(A_0'', B_0'', C_0'') = (A_0, B_0, C_0) \times (A_0', B_0', C_0')$ ,  $T(-x_0, -y_0, -z_0, 1)$  和  $R$  分别为激光跟踪仪坐标系到铁轨平面坐标系的平移矩阵和旋转矩阵,进而得到铁轨平面坐标系。

7. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述验证装置具体为:台阶立体构式,包括:第一阶面和第二阶面,所述第一阶面上设置有两个球座;所述第二阶面设置有一个球座和激光接收十字标记,所述球座用于放置激光跟踪仪小球;所述激光接收十字标记用于接收所述激光测距传感器的激光点。

## 一种机车车辆限界系统及其标定方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及标定领域,特别涉及一种机车车辆限界系统及其标定方法。

### 背景技术

[0002] 机车车辆限界测量问题是列车大提速背景下亟待解决的重大问题。这类测量问题较常规几何测量面临更复杂的技术难题,突出表现在以下两个方面:一是需要兼顾测量速度和测量精度两个方面,在一节二十多米长的车厢关键部位截面测量中实现高精度测量,具有很大的难度;二是被测关键截面的高复杂性,大多数传统接触式测量手段由于自身的局限,无法高效、高精度地完成测量任务。

[0003] 近年来非接触式测量方法得到了快速发展,其具有测量精度高、测量效率高的优点,但尚未成为机车车辆限界测量的主流方法。目前,国内铁路部门进行机车车辆限界测量的系统仍然采用传统的接触式测量系统,最典型的是在铁轨上方固定门状支撑框架,并在支撑框架两侧上沿竖直方向分别固定一个仅可轴转动的限界平板,并在铁轨下方深坑沿垂直于铁轨方向放置一个仅可轴转动的限界平板。现有的测量方法是通过测量车体外表面与平板边界之间的距离,就可以得到车体与现有限界标准的距离。

[0004] 发明人在实现本发明的过程中发现现有技术中至少存在以下的缺点和不足:

[0005] 现有的限界系统测量方法是按照检查要求,逐点、逐步使用钢板尺手工测量,具有速度慢,精度低,劳动强度大等问题。

### 发明内容

[0006] 本发明提供了一种机车车辆限界系统及其标定方法,本发明提高了测量速度和精度,减少了劳动强度,详见下文描述:

[0007] 一种机车车辆限界系统,包括:门状支撑框架,在所述门状支撑框架的两侧立柱内侧面、上方横梁下端面及下方横梁上端面安装移动平台;在所述移动平台的两端各安装平台支架,穿过所述平台支架安装有大丝杠,在所述移动平台上安装大导轨;所述大导轨上安装有第一平板,所述第一平板通过所述大丝杠的牵引在所述大导轨上运动;所述第一平板上装有移动底板,所述移动底板的两端各安装底板支架;在所述移动底板上安装有小丝杠和小导轨,在所述小导轨上安装有第二平板,所述第二平板通过所述小丝杠的牵引在所述小导轨上运动;所述第二平板上安装有L型支架,所述L型支架上安装有激光测距传感器;在所述平台支架上通过第一电机支架安装有大电机,所述大电机通过内部的联轴器与所述大丝杠配合实现传动;在所述底板支架上通过第二电机支架安装有小电机,所述小电机通过内部的联轴器与所述小丝杠配合实现传动。

[0008] 所述移动平台由块阶梯状平板构成。

[0009] 所述移动底板成阶梯状一体成型。

[0010] 所述方法包括以下步骤:

[0011] (1) 将一端有固定垂直位置关系另一端移动的卡规固定在平行铁轨上,获取并计

算出所述平行铁轨第一上端面 C1 与第一内侧面 C2 的交线方程 L；

[0012] 其中，C1 为  $A1x+B1y+C1z=1$ ，C2 为  $A2x+B2y+C2z=1$ ，通过 C1 和 C2 计算出平行铁轨第一上端面 C1 与第一内侧面 C2 的交线方程 L：

$$[0013] \quad L = \begin{cases} A1x+B1y+C1z=1 \\ A2x+B2y+C2z=1 \end{cases}$$

[0014]  $(A1, B1, C1)$  为所述第一上端面 C1 的法向量； $(A2, B2, C2)$  为所述第一内侧面 C2 的法向量；

[0015] (2) 将所述卡规固定端换到所述平行铁轨另一侧固定，重复执行步骤 (1) 获取所述平行铁轨第二上端面 C1' 与第二内侧面 C2' 的交线方程 L'；

$$[0016] \quad L' = \begin{cases} A1'x+B1'y+C1'z=1 \\ A2'x+B2'y+C2'z=1 \end{cases}$$

[0017] 其中， $(A1', B1', C1')$  为所述第二上端面 C1' 的法向量； $(A2', B2', C2')$  为所述第二内侧面 C2' 的法向量； $(x, y, z)$  为 L, L' 上任意点坐标；

[0018] (3) 由所述交线方程 L 和 L' 确定所述平行铁轨上端面法向量，将平行铁轨上端面对应的方程标定为平行铁轨坐标系的 XOY 面，再将平行铁轨第一内侧面 C2 与第二内侧面 C2' 的中分面  $A0'x+B0'y+C0'z=1$  标定为 XOZ 面，将过任一所述激光测距传感器靶标座零点且与平行铁轨上端面 XOY 和中分面 XOZ 均垂直的第三平面标定为  $A0''x+B0''y+C0''z=1$  为 YOZ 平面；

[0019] 其中，所述平行铁轨上端面法向量具体为：

$$[0020] \quad (A0, B0, C0) = ((A1, B1, C1) \times (A2, B2, C2)) \times ((A1', B1', C1') \times (A2', B2', C2'))$$

[0021] 所述平行铁轨上端面方程具体为： $A0x+B0y+C0z=1$ ；

[0022] (4) 通过坐标系的平移和旋转变换将跟踪仪坐标系变换到铁轨平面坐标系；

[0023] (5) 通过所述铁轨平面坐标系获取所述激光测距传感器靶标点初始位置并将其作为演算起点，通过上位机发送连续测量指令，使所述激光测距传感器常亮，移动所述激光测距传感器至预设高度，所述激光跟踪仪测量当前位置所述激光测距传感器上靶标点坐标以及光线方向上预设范围的坐标，由测量的预设范围的坐标拟合出光线方程，并计算出当前位置靶标点到光线的垂直偏移量；

[0024] (6) 通过所述上位机发送运动指令，将所述激光测距传感器移动到所述小丝杠的另一端，所述激光跟踪仪测量所述激光测距传感器运动过程中的预设范围靶标点坐标，再由所述上位机控制所述激光测距传感器回零，并控制所述激光测距传感器移动到所述大丝杠的另一端，同样测量所述激光测距传感器运动过程中预设范围的靶标点坐标，由两次测得的靶标点坐标分别拟合出所述小丝杠和所述大丝杠的方向矢量；

[0025] (7) 重复执行步骤 (5) 和步骤 (6)，获取其他 5 个激光测距传感器的初始位置靶标点坐标、当前位置靶标点到光线的垂直偏移量、光线方程中的光线矢量、所述小丝杠和所述大丝杠的方向矢量；

[0026] (8) 所述上位机处理标定参数，再将验证装置固定在三脚架上，通过所述上位机读取当前位置的激光点三维坐标，并用所述激光跟踪仪获取所述验证装置当前位置上的三个

跟踪仪球座中心处的三维坐标值；

[0027] (9) 所述激光跟踪仪根据事先标定的所述验证装置标记点与三个跟踪仪球座中心处的几何位置关系和当前位置的三个激光跟踪仪球座中心处的三维坐标值获取标记点的三维坐标；

[0028] (10) 对所述机车车辆限界系统测出的标记点的三维坐标和所述激光跟踪仪测出的标记点的三维坐标进行比对，获取误差。

[0029] 所述将一端有固定垂直位置关系另一端移动的卡规固定在平行铁轨上，获取并计算出所述平行铁轨第一上端面 C1 与第一内侧面 C2 的交线方程 L 具体为：

[0030] 将一端有固定垂直位置关系另一端移动的卡规固定在平行铁轨上，卡规下端面与外侧面分别与铁轨上端面和内侧面贴合，用激光跟踪仪标定出在激光跟踪仪坐标系下 4 个靶标座的坐标，根据预先标定过的 4 个靶标座与卡规下端面及外侧面的几何关系，获取卡规下端面的方程和外侧面的方程并计算出平行铁轨第一上端面 C1 与第一内侧面 C2 的交线方程 L。

[0031] 所述坐标变换公式为  $(x', y', z', 1) = (x, y, z, 1) \times T(-x_0, -y_0, -z_0, 1) \times R$

[0032] 其中  $(A_0', B_0', C_0') = (A_2 + A_2' / 2, B_2 + B_2' / 2, C_2 + C_2' / 2)$ ，

[0033]  $(A_0'', B_0'', C_0'') = (A_0, B_0, C_0) \times (A_0', B_0', C_0')$ ， $T(-x_0, -y_0, -z_0, 1)$  和 R 分别为激光跟踪仪坐标系到铁轨平面坐标系的平移矩阵和旋转矩阵，进而得到铁轨平面坐标系。

[0034] 所述验证装置具体为：台阶立体构式，包括：第一阶面和第二阶面，所述第一阶面上设置有两个球座；所述第二阶面设置有一个球座和激光接收十字标记，所述球座用于放置激光跟踪仪小球；所述激光接收十字标记用于接收所述激光测距传感器的激光点。

[0035] 本发明提供的技术方案的有益效果是：

[0036] 本发明提供了一种机车车辆限界系统及其标定方法，本发明设计了一种车辆限界系统，并在车辆限界系统的基础上，通过交线方程 L 和 L' 确定平行铁轨上端面法向量，将平行铁轨上端面方程标定为平行铁轨坐标系的 XOY 面，再将平行铁轨第一内侧面 C2 与第二内侧面 C2' 的中分面标定为 XOZ 面，将过任一激光测距传感器靶标座零点且与平行铁轨上端面 XOY 和中分面 XOZ 均垂直的第三平面标定为 YOZ 平面；由激光跟踪仪坐标系到铁轨坐标系的坐标变换可得到铁轨坐标系，然后标定出大小导轨方向矢量，光线矢量及靶标点到光线方向的垂直矢量，这样完成消除了系统安装引起的误差，通过实验证明，此方法可以将测量精度提高到  $\pm 0.5\text{mm}$ ，采用本标定方法，大大提高了检具标定的柔性，通过精密大小导轨移动传感器测量，减少了劳动强度。

## 附图说明

[0037] 图 1 为本发明提供的一种机车车辆限界系统的结构示意图；

[0038] 图 2 为本发明提供的建立铁轨坐标系的示意图；图 3 为本发明提供的验证装置的示意图；

[0039] 图 4 为本发明提供的用于机车车辆限界系统的标定方法的流程图。

[0040] 附图中，各标号所代表的部件列表如下：

[0041] 1：门状支撑框架； 2：移动平台；

- [0042] 3:平台支架; 4:大丝杠;
- [0043] 5:大导轨; 6:第一平板;
- [0044] 7:移动底板; 8:底板支架 8;
- [0045] 9:小丝杠; 10:小导轨;
- [0046] 11:第二平板; 12:L 型支架;
- [0047] 13:激光测距传感器; 14:第一电机支架;
- [0048] 15:大电机; 16:第二电机支架;
- [0049] 17:小电机。

### 具体实施方式

[0050] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明实施方式作进一步地详细描述。

[0051] 为了提高测量速度和测量精度,减少劳动强度,本发明实施例提供了一种机车车辆限界系统,详见下文描述:

[0052] 参见图 1,左侧为局部放大图,右侧为系统整体框架。由于机车车辆限界系统结构具有对称性,这里只对右侧的结构进行了局部放大。

[0053] 一种机车车辆限界系统,包括:门状支撑框架 1,在门状支撑框架 1 的两侧立柱内侧面、上方横梁下端面及下方横梁上端面安装移动平台 2;在移动平台 2 的两端各安装平台支架 3,穿过平台支架 3 安装有大丝杠 4,在移动平台 2 上安装大导轨 5;大导轨 5 上安装有第一平板 6,第一平板 6 通过大丝杠 4 的牵引在大导轨 5 上运动;第一平板 6 上装有移动底板 7,移动底板 7 的两端各安装底板支架 8;在移动底板 7 上安装有小丝杠 9 和小导轨 10,在小导轨 10 上安装有第二平板 11,第二平板 11 通过小丝杠 9 的牵引在小导轨 10 上运动;第二平板 11 上安装有 L 型支架 12, L 型支架 12 上安装有激光测距传感器 13;在平台支架 3 上通过第一电机支架 14 安装有大电机 15,大电机 15 通过内部的联轴器与大丝杠 4 配合实现传动;在底板支架 8 上通过第二电机支架 16 安装有小电机 17,小电机 17 通过内部的联轴器与小丝杠 9 配合实现传动。

[0054] 其中,具体实现时,移动平台 2 由 2 块阶梯状平板构成。

[0055] 其中,具体实现时,大丝杠 4 穿过 2 个平台支架 3,并通过轴承的配合固定在平台支架 3 上。

[0056] 其中,具体实现时,第一平板 6 通过滑块和螺母与大导轨 5 和大丝杠 4 配合。

[0057] 其中,具体实现时,移动底板 7 成阶梯状一体成型。

[0058] 为了提高测量速度和测量精度,减少劳动强度,参见图 2、图 3 和图 4,本发明实施例基于机车车辆限界系统提供了一种标定方法,详见下文描述:

[0059] 101:将一端有固定垂直位置关系另一端移动的卡规固定在平行铁轨上,获取并计算出平行铁轨第一上端面 C1 与第一内侧面 C2 的交线方程 L;

[0060] 其中,C1 为  $A1x+B1y+C1z=1$ , C2 为  $A2x+B2y+C2z=1$ ,通过 C1 和 C2 计算出平行铁轨第一上端面 C1 与第一内侧面 C2 的交线方程 L:

$$[0061] \quad L = \begin{cases} A1x + B1y + C1z = 1 \\ A2x + B2y + C2z = 1 \end{cases}$$

[0062] 其中,  $(A1, B1, C1)$  为第一上端面  $C1$  的法向量;  $(A2, B2, C2)$  为第一内侧面  $C2$  的法向量;

[0063] 其中, 该步骤 101 具体为: 将一端有固定垂直位置关系另一端移动的卡规固定在平行铁轨上, 卡规下端面与外侧面分别与铁轨上端面和内侧面贴合, 用激光跟踪仪标定出在激光跟踪仪坐标系下 4 个靶标座的坐标, 根据预先标定过的 4 个靶标座与卡规下端面及外侧面的几何关系, 获取卡规下端面的方程和外侧面的方程并计算出平行铁轨第一上端面  $C1$  与第一内侧面  $C2$  的交线方程  $L$ 。

[0064] 102: 将卡规固定端换到平行铁轨另一侧固定, 重复执行步骤 101 获取平行铁轨第二上端面  $C1'$  与第二内侧面  $C2'$  的交线方程  $L'$  :

$$[0065] \quad L = \begin{cases} A1'x + B1'y + C1'z = 1 \\ A2'x + B2'y + C2'z = 1 \end{cases}$$

[0066] 其中,  $(A1', B1', C1')$  为第二上端面  $C1'$  的法向量;  $(A2', B2', C2')$  为第二内侧面  $C2'$  的法向量;  $(x, y, z)$  为直线  $L$  或  $L'$  上任意点坐标。

[0067] 103: 由交线方程  $L$  和  $L'$  确定平行铁轨上端面法向量, 将平行铁轨上端面方程标定平行铁轨坐标系的  $XOY$  面, 再将平行铁轨第一内侧面与第二内侧面中分面  $A0'x + B0'y + C0'z = 1$  标定  $XOZ$  面, 将过激光测距传感器 13 靶标座零点且与平行铁轨水平面  $XOY$  和中分面  $XOZ$  均垂直的第三平面  $A0''x + B0''y + C0''z = 1$  标定  $YOZ$  平面;

[0068] 其中, 平行铁轨上端面法向量具体为:

$$[0069] \quad (A0, B0, C0) = ((A1, B1, C1) \times (A2, B2, C2)) \times ((A1', B1', C1') \times (A2', B2', C2'))$$

[0070] 平行铁轨上端面方程具体为:  $A0x + B0y + C0z = 1$ 。

[0071] 104: 通过坐标系的平移和旋转变换将跟踪仪坐标系变换到铁轨平面坐标系;

[0072] 其中, 坐标变换公式为  $(x', y', z', 1) = (x, y, z, 1) \times T(-x0, -y0, -z0, 1) \times R$

[0073] 其中  $(A0', B0', C0') = (A2 + A2' / 2, B2 + B2' / 2, C2 + C2' / 2)$ ,

[0074]  $(A0'', B0'', C0'') = (A0, B0, C0) \times (A0', B0', C0')$ ,  $T(-x0, -y0, -z0, 1)$  和  $R$  分别为激光跟踪仪坐标系到铁轨平面坐标系的平移矩阵和旋转矩阵, 进而得到铁轨平面坐标系。

[0075] 105: 通过铁轨平面坐标系获取激光测距传感器 13 靶标点初始位置并将其作为演算起点, 通过上位机发送连续测量指令, 使激光测距传感器 13 常亮, 移动激光测距传感器 13 至预设高度, 激光跟踪仪测量当前位置激光测距传感器 13 上靶标点坐标以及光线方向上预设范围的坐标, 由测量的预设范围的坐标拟合出光线方程, 并计算出当前位置靶标点到光线的垂直偏移量;

[0076] 其中, 预设范围根据实际应用中的需要确定, 本发明实施例以 6 到 10 个点为例进行说明, 具体实现时, 本发明实施例对此不做限制。

[0077] 其中, 预设高度根据实际应用中的需要进行设定, 本发明实施例中的预设高度选择为 1m, 具体实现时, 本发明实施例对此不做限制。

[0078] 106: 通过上位机发送运动指令, 将激光测距传感器 13 移动到小丝杠 9 的另一端, 激光跟踪仪测量激光测距传感器 13 运动过程中的预设范围靶标点坐标, 再由上位机控制激光测距传感器 13 回零, 并控制激光测距传感器 13 移动到大丝杠 4 的另一端, 同样测量测

量激光测距传感器 13 运动过程中预设范围的靶标点坐标,由两次测得的靶标点坐标分别拟合出小丝杠 9 和大丝杠 4 的方向矢量;

[0079] 107:重复执行步骤 105 和步骤 106,获取其他 5 个激光测距传感器 13 的初始位置靶标点坐标、当前位置靶标点到光线的垂直偏移量、光线方程中的光线矢量、小丝杠 9 和大丝杠 4 的方向矢量;

[0080] 表 1 标定参数

[0081]

| 激光测距传感器 1 |           |           |           | 激光测距传感器 2 |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 初始位置      | -24.847   | -1553.358 | -261.812  | 初始位置      | -45.156   | -185.419  | -263.756  |
| 大丝杠方向     | -0.005774 | 0.001056  | 0.999983  | 大丝杠方向     | -0.005698 | 0.001055  | 0.999983  |
| 小丝杠方向     | 0.999951  | 0.008495  | -0.004949 | 小丝杠方向     | 0.999996  | 0.001302  | -0.002454 |
| 光线矢量      | 0.01341   | -0.018418 | 0.99974   | 光线矢量      | 0.007383  | 0.004284  | 0.999963  |
| 偏移量       |           | 121.417   |           | 偏移量       |           | 115.426   |           |
| 激光测距传感器 3 |           |           |           | 激光测距传感器 4 |           |           |           |
| 初始位置      | -0.008    | -2009.773 | -14.53    | 初始位置      | -39.343   | -1365.633 | 5053.916  |
| 大丝杠方向     | -0.005869 | 0.000566  | 0.999982  | 大丝杠方向     | -0.007692 | 0.99997   | 0.000504  |
| 小丝杠方向     | 0.999989  | 0.001302  | 0.00072   | 小丝杠方向     | 0.999986  | 0.004667  | -0.0021   |
| 光线矢量      | -0.015334 | 0.99988   | 0.00194   | 光线矢量      | -0.010344 | 0.007006  | -0.99922  |
| 偏移量       |           | 119.9     |           | 偏移量       |           | 120.119   |           |
| 激光测距传感器 5 |           |           |           | 激光测距传感器 6 |           |           |           |

[0082]

|       |          |          |           |       |          |           |          |
|-------|----------|----------|-----------|-------|----------|-----------|----------|
| 初始位置  | -56.511  | -342.368 | 5055.163  | 初始位置  | -28.816  | 2008.118  | -10.995  |
| 大丝杠方向 | -0.00872 | 0.999962 | 0.000134  | 大丝杠方向 | -0.0061  | -0.000994 | 0.99998  |
| 小丝杠方向 | 0.999977 | 0.006647 | -0.001094 | 小丝杠方向 | 0.999947 | 0.010026  | 0.002321 |
| 光线矢量  | -0.00307 | 0.013299 | -0.999906 | 光线矢量  | -0.00221 | -0.99993  | -0.01111 |
| 偏移量   | 7        | 117.529  |           | 偏移量   | 7        | 5         | 3        |
|       |          |          |           |       |          | 119.834   |          |

[0083] 108 :上位机处理标定参数,再将验证装置固定在三脚架上,通过上位机读取当前位置的激光点三维坐标,并用激光跟踪仪获取验证装置当前位置上的三个跟踪仪球座中心处的三维坐标值;

[0084] 其中,具体实现时,本发明实施例对验证位置不做特别设定,根据实际应用中的需要进行设定。本发明实施例中的验证装置具体为:台阶立体构式,包括:第一阶面和第二阶面,第一阶面上设置有两个球座;第二阶面设置有一个球座和激光接收十字标记,球座用于放置激光跟踪仪小球;激光接收十字标记用于接收激光测距传感器的激光点。

[0085] 109 :激光跟踪仪根据事先标定的验证装置标记点与三个激光跟踪仪球座中心处的几何位置关系和当前位置的三个跟踪仪球座中心处的三维坐标值获取标记点的三维坐标;

[0086] 其中,具体实现时,为了进一步验证系统的测量精度,可以采用多次测量验证,例如:当采用三次验证时,包括:当前位置验证、验证装置分别沿光线方向移动第一阈值和第二阈值处的验证,分别读取第一阈值处的激光点三维坐标和三个跟踪仪球座中心处的三维坐标值和第二阈值处的激光点三维坐标和三个跟踪仪球座中心处的三维坐标值,根据几何位置关系、当前位置的三个跟踪仪球座中心处的三维坐标值、第一阈值处三个跟踪仪球座中心处的三维坐标值和第二阈值处的三个跟踪仪球座中心处的三维坐标值得到三个标记点的三维坐标。

[0087] 其中,第一阈值和第二阈值的取值根据实际应用中的需要进行设定,本发明实施例以第一阈值为 20mm,第二阈值为 40mm 为例进行说明,具体实现时,本发明实施例对此不做限制。

[0088] 110 :对机车车辆限界系统测出的标记点的三维坐标和激光跟踪仪测出的标记点的三维坐标进行比对,获取误差。

[0089] 其中,将 6 个激光测距传感器的实验验证数据分别记录于表 2(a), (b), (c), (d), (e), (f) 中。

[0090] 表 2(a) 1 号验证实验数据

[0091]

| 测量点 | x             |                    |            | Y             |                    |            | z             |             |            |
|-----|---------------|--------------------|------------|---------------|--------------------|------------|---------------|-------------|------------|
| 序号  | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪<br>仪<br>测量<br>值 | 测量<br>误差   | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪<br>仪<br>测量<br>值 | 测量<br>误差   | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪仪<br>测量值  | 测量<br>误差   |
| 1   | 34.2<br>1     | 34.521             | 0.311      | 54.78         | 54.465             | -0.31<br>5 | 720.8<br>9    | 720.63<br>2 | -0.25<br>8 |
| 2   | 52.1<br>2     | 52.48              | 0.36       | 59.52         | 59.367             | -0.15<br>3 | 463.2<br>6    | 462.98<br>4 | -0.27<br>6 |
| 3   | 64.3<br>5     | 64.122             | -0.22<br>8 | 114.0<br>3    | 114.51             | 0.48       | 243.0<br>5    | 243.41<br>2 | 0.362      |

[0092] 表 2(b) 2 号验证实验数据

[0093]

| 测量点 | x             |             |           | Y             |                    |            | z             |             |            |
|-----|---------------|-------------|-----------|---------------|--------------------|------------|---------------|-------------|------------|
| 序号  | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪仪<br>测量值  | 测量<br>误差  | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪<br>仪<br>测量<br>值 | 测量<br>误差   | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪仪<br>测量值  | 测量<br>误差   |
| 1   | 56.23         | 56.472      | 0.24<br>2 | 78.54         | 78.324             | -0.21<br>6 | 638.9<br>6    | 639.24<br>1 | 0.281      |
| 2   | 24.38         | 24.756      | 0.37<br>6 | 79.39         | 79.635             | 0.245      | 719.9<br>6    | 719.58<br>1 | -0.37<br>9 |
| 3   | -25.6<br>9    | -25.23<br>4 | 0.45<br>6 | 80.21         | 80.52              | 0.31       | 923.5<br>2    | 923.96<br>2 | 0.442      |

[0094] 表 2(c) 3 号验证实验数据

[0095]

| 测量点 | x             |             |            | Y             |               |            | z             |                    |           |
|-----|---------------|-------------|------------|---------------|---------------|------------|---------------|--------------------|-----------|
| 序号  | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪仪<br>测量值  | 测量<br>误差   | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪仪<br>测量值    | 测量<br>误差   | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪<br>仪<br>测量<br>值 | 测量<br>误差  |
| 1   | 63.2          | 63.524      | 0.324      | -1035.6<br>4  | -1035.21<br>1 | 0.429      | 636.2         | 636.6              | 0.4       |
| 2   | 36.87         | 36.392      | -0.47<br>8 | 681.15        | 681.524       | 0.374      | 639.5<br>4    | 639.13             | -0.4<br>1 |
| 3   | -69.8<br>6    | -69.43<br>5 | 0.425      | -114.13       | -114.563      | -0.43<br>3 | 743.0<br>5    | 743.42             | 0.37      |

[0097] 表 2(d) 4 号验证实验数据

[0098]

| 测量点 | x             |             |           | Y            |               |            | z           |             |                  |
|-----|---------------|-------------|-----------|--------------|---------------|------------|-------------|-------------|------------------|
| 序号  | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪仪<br>测量值  | 测量<br>误差  | 系统<br>测量值    | 跟踪仪<br>测量值    | 测量<br>误差   | 系统<br>测量值   | 跟踪仪<br>测量值  | 测<br>量<br>误<br>差 |
| 1   | -86.3<br>2    | -86.01<br>3 | 0.30<br>7 | -1235.1<br>4 | -1235.56<br>1 | -0.42<br>1 | 1044.0<br>1 | 1044.4<br>3 | 0.42             |
| 2   | 23.21         | 23.562      | 0.35<br>2 | -1234.6<br>1 | -1234.21<br>4 | 0.396      | 935.52      | 935.87      | 0.35             |
| 3   | 75.23         | 75.651      | 0.42<br>1 | -1232.5<br>3 | -1232.25<br>8 | 0.272      | 876.25      | 876.52      | 0.27             |

[0099] 表 2(e) 5 号验证实验数据

[0100]

| 测量点 | x             |             |            | Y           |              |            | Z           |             |           |
|-----|---------------|-------------|------------|-------------|--------------|------------|-------------|-------------|-----------|
| 序号  | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪仪<br>测量值  | 测量<br>误差   | 系统<br>测量值   | 跟踪仪<br>测量值   | 测量<br>误差   | 系统<br>测量值   | 跟踪仪<br>测量值  | 测量<br>误差  |
| 1   | 63.24         | 63.674      | 0.434      | -186.5<br>1 | -186.93<br>2 | -0.42<br>2 | 713.35      | 713.65<br>4 | 0.30<br>4 |
| 2   | 42.35         | 42.724      | 0.374      | -189.3<br>6 | -189.65<br>1 | -0.29<br>1 | 937.23      | 937.65<br>4 | 0.42<br>4 |
| 3   | -35.1<br>4    | -35.46<br>3 | -0.32<br>3 | -192.2<br>4 | -192.56<br>6 | -0.32<br>6 | 1021.6<br>2 | 1021.2<br>1 | -0.41     |

[0101] 表 2(f) 6 号验证实验数据

[0102]

| 测量点 | x |  |  | Y |  |  | z |  |  |
|-----|---|--|--|---|--|--|---|--|--|
|-----|---|--|--|---|--|--|---|--|--|

[0103]

| 序号 | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪<br>仪<br>测量<br>值 | 测量<br>误差  | 系统<br>测量值   | 跟踪仪<br>测量值   | 测量<br>误差   | 系统<br>测量<br>值 | 跟踪<br>仪<br>测量<br>值 | 测<br>量<br>误<br>差 |
|----|---------------|--------------------|-----------|-------------|--------------|------------|---------------|--------------------|------------------|
| 1  | 78.3<br>1     | 78.672             | 0.36<br>2 | -858.1<br>9 | -858.62<br>1 | -0.43<br>1 | 668.4<br>6    | 668.92             | 0.46             |
| 2  | 56.2<br>4     | 56.643             | 0.40<br>3 | -201.2<br>5 | -200.87<br>6 | 0.374      | 671.3<br>2    | 671.65             | 0.33             |
| 3  | 23.5<br>6     | 23.951             | 0.39<br>1 | 535.92      | 536.231      | 0.311      | 683.0<br>9    | 683.47             | 0.38             |

[0104] 本方法中的激光跟踪仪可以采用 Leica 公司的 AT901-LR 产品,当然也可以采用其它已有的激光跟踪仪或经纬仪等精确标定仪器。当激光跟踪仪放好以后,激光跟踪仪建立了自身坐标系,并且不能移动激光跟踪仪。

[0105] 通过对上述数据的分析,可以直接的得到测量精度提高到  $\pm 0.5\text{mm}$ ,满足了实际应用中的需要。

[0106] 综上所述,本发明实施例提供了一种机车车辆限界系统及其标定方法,在车辆限界系统的基础上,通过交线方程  $L$  和  $L'$  确定平行铁轨上端面法向量,将平行铁轨上端面方程标定为平行铁轨坐标系的  $XOY$  面,再将平行铁轨第一内侧面  $C2$  与第二内侧面  $C2'$  的中分面标定为  $XOZ$  面,将过任一激光测距传感器靶标座零点且与平行铁轨上端面  $XOY$  和中分面  $XOZ$  均垂直的第三平面标定为  $YOZ$  平面;由激光跟踪仪坐标系到铁轨坐标系的坐标变换可得到铁轨坐标系,然后标定出大小导轨方向矢量,光线矢量及靶标点到光线方向的垂直矢量,这样完成消除了系统安装引起的误差,通过实验证明,此方法可以将测量精度提高到  $\pm 0.5\text{mm}$ ,采用本标定方法,大大提高了检具标定的柔性,通过精密大小导轨移动传感器测量,减少了劳动强度。

[0107] 本领域技术人员可以理解附图只是一个优选实施例的示意图,上述本发明实施例序号仅仅为了描述,不代表实施例的优劣。

[0108] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

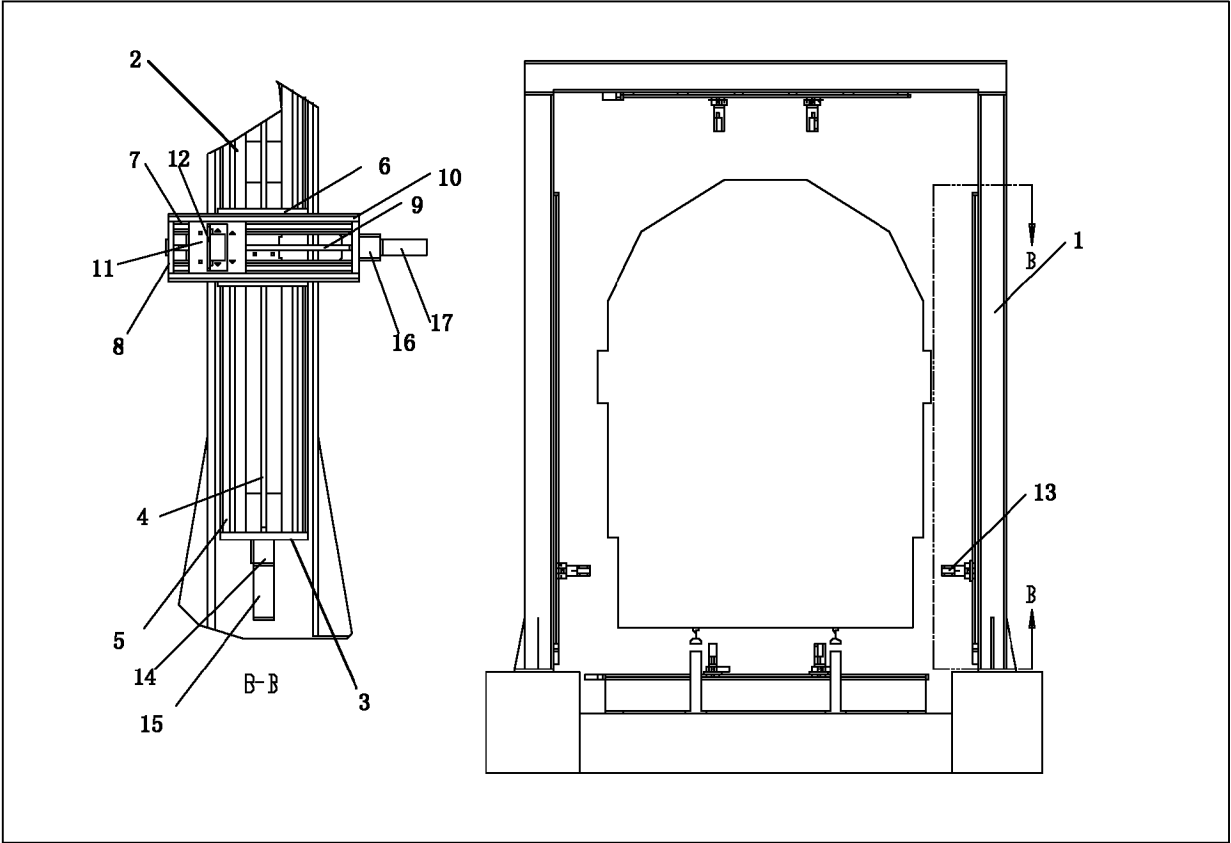


图 1

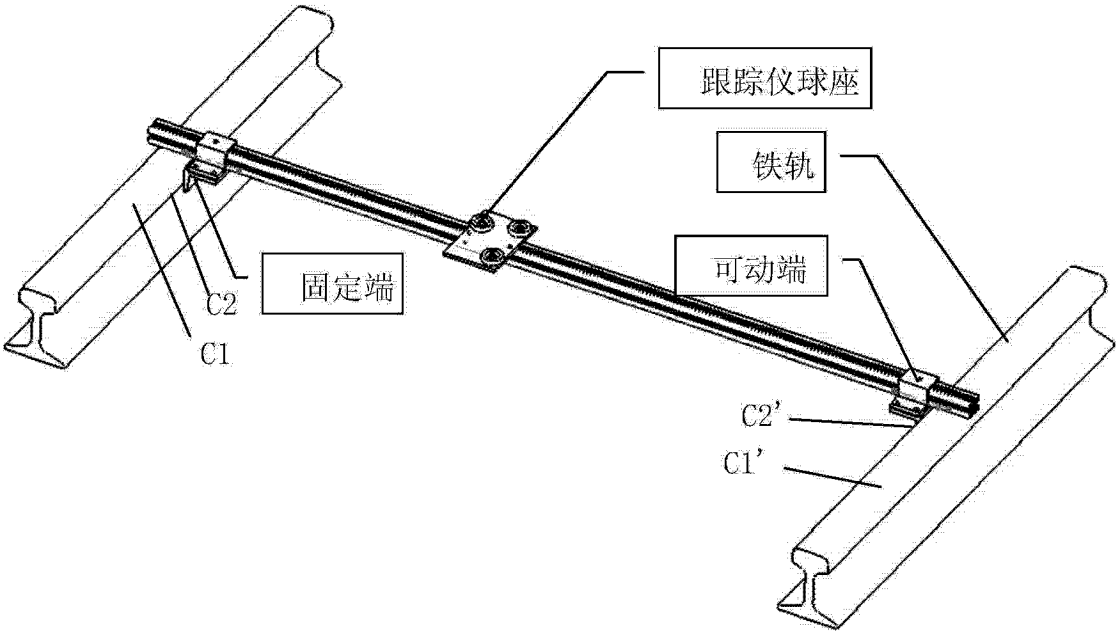


图 2

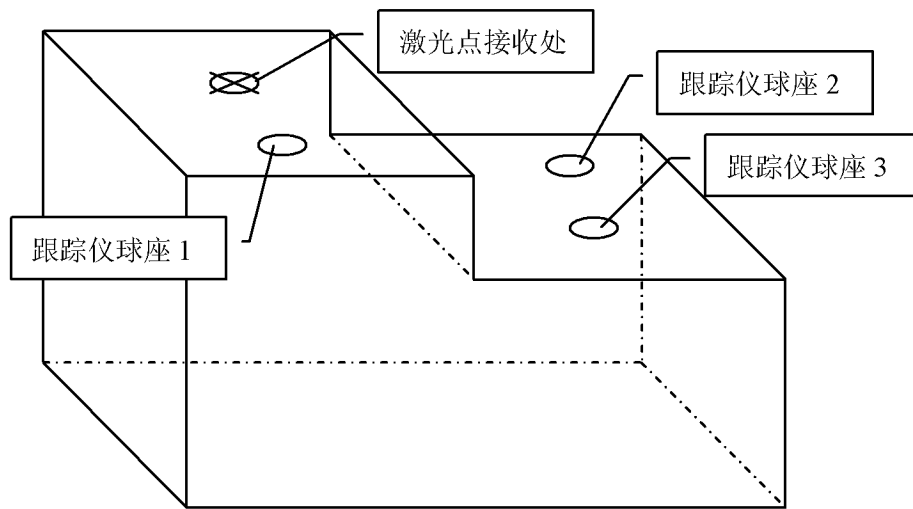


图 3

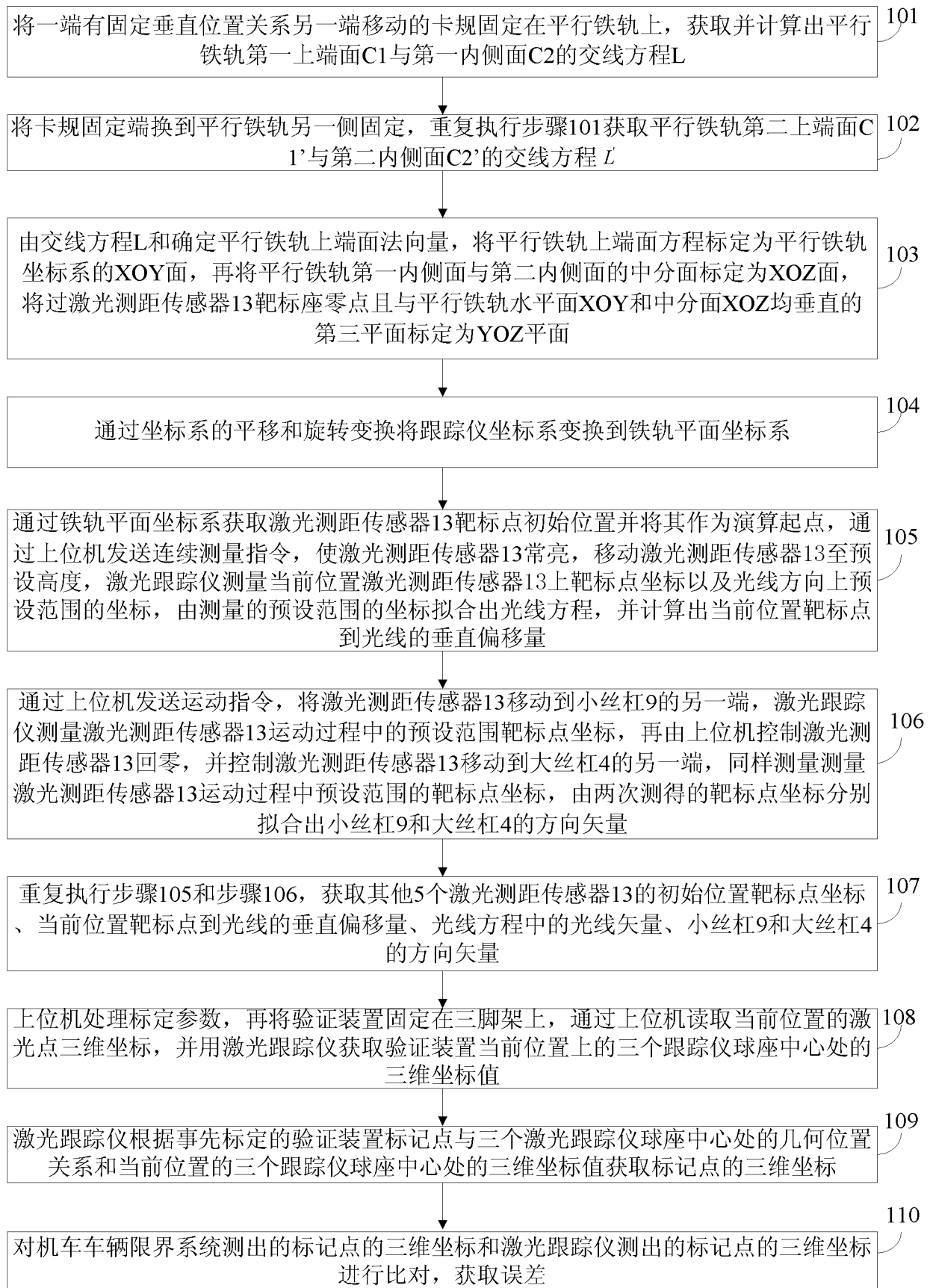


图 4