

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B61K 9/12 (2006.01)
G01C 11/36 (2006.01)
G01N 21/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610155281.3

[43] 公开日 2007年7月18日

[11] 公开号 CN 100999219A

[22] 申请日 2006.12.18

[21] 申请号 200610155281.3

[71] 申请人 杭州电子科技大学

地址 310018 浙江省杭州市江干区下沙高教
园区2号大街

[72] 发明人 吴开华 严匡 蒋鹏

[74] 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公司
代理人 张法高

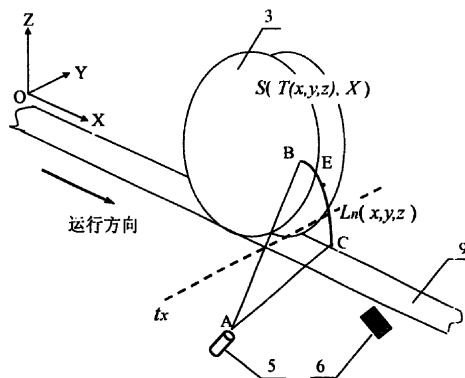
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

[54] 发明名称

车辆轮对踏面缺陷在线检测方法及装置

[57] 摘要

本发明公布了一种在线检测低速运行中铁路车辆轮对踏面缺陷的方法和装置。本发明中结构光源发出的光线照射到轮对踏面上，在踏面上形成投影图像。当轮对运行到设定位置时，第三个位置传感器发出触发信号，启动图像传感器拍摄一系列踏面投影图像。通过分析计算可以得到实际拍摄图像与无缺陷图像的偏差图像，进一步判断偏差图像中是否存在缺陷，并可以最终计算出踏面缺陷参数。采用该方法，在整个检测过程中检测装置与轮对没有接触，检测装置不会产生磨损现象，检测装置易于维护；检测装置能够实时在线采集、处理分析。



1、车辆轮对踏面缺陷在线检测方法，其特征在于该检测利用结构光光源在踏面缺陷上的投影信息检测踏面擦伤和踏面剥离两个缺陷参数，具体包括以下步骤：

(1)当车辆运行到检测区间时，检测车辆运行速度，当速度 V 在 $0\sim 10$ 千米/小时时启动检测单元；

(2)当速度 V 在 $0\sim 10$ 千米/小时时启动光源，由一系列有规则排列的光线组成的结构光照射到车辆轮对的踏面上，结构光在踏面上的投影通过线阵摄像机成像，形成踏面的投影图像；

(3)当车辆轮对运行到检测位置时，测速位置传感器产生触发信号，实时检测此触发信号，控制图像采集装置采集一系列结构光在踏面上的投影图像；车轮的每一侧通过 3 台以上的摄像机，使拍摄的范围可以完整覆盖车轮踏面的一周；

(4)对应每幅图像的采集时刻 t_x ，首先根据已知的踏面尺寸参数 $T(x,y,z)$ ，得到没有缺陷情况下在 t_x 时刻光源与踏面的交线 $C(x,y,z)$ ，以及该交线的投影图像 $P(\alpha,\beta)$ ，其中 α,β 为摄像机成像面的坐标， x,y,z 为物方空间坐标；

(5) t_x 时刻对应的实际拍摄图像为 $P'(\alpha,\beta)$ ，该图像包含了踏面上的缺陷信息，则实际图像与无缺陷图像的偏差图像 ΔP 为： $\Delta P = P'(\alpha,\beta) - P(\alpha,\beta)$ ；

(6)设 e 是判断缺陷是否存在的临界值， $e \leq 0.1\text{mm}$ ，如果 ΔP 中各像素的偏差值均小于 e ，则判断该图像上没有缺陷存在；反之则判断偏差图像中存在缺陷，且偏差值大于 e 的像素点对应踏面缺陷上的点；

(7)根据图像采集时刻 t_x ，以及成像关系，可以得到每个缺陷点对应到物方空间的缺陷位置；同时，偏差图像 ΔP 中某点的偏差量 ΔP_i 与该点对应缺陷点的深度 d_i 、以及对应缺陷点处的切平面相对于光平面的夹角 ω 成正比；图像采集装置的位置关系确定后，角度 ω 是已知量，通过 ΔP_i 的值可以

计算出对应缺陷点的深度 d_i 的值： $d_i = \Delta P_i \times \tan \omega$ ；

(8)将一系列线阵图像拼接为一幅二维图像，并将没有缺陷的图像像素的灰度值置为0，有缺陷的图像像素的灰度值置为该像素对应踏面缺陷点的缺陷深度 d_i ，则这幅二维图像即为踏面缺陷的图像；

(9)对于踏面擦伤参数，求出擦伤缺陷图像中最大的缺陷点的深度，即为踏面擦伤参数的值；对于踏面剥离参数，求出剥离缺陷图像中起始与终止缺陷点对应的滚动圆长度，即为踏面剥离参数的值。

2、采用如权利要求1所述检测方法使用的检测装置，其特征在于该检测装置是包括沿一段平直的轨道一侧靠近轨道的位置依次排列两个测速位置传感器和一个触发位置传感器，两个测速位置传感器之间的间距小于一个车轮的周长；在触发位置传感器前方在轨道外侧分别设置两套图像采集装置，沿两条轨道对称安装；每套图像采集装置包括至少三台线阵摄像机和一个结构光光源；结构光光源与轨道斜向设置，产生的激光束照射到从检测装置通过的轮对的踏面上；摄像机设置在结构光光源和轨道之间，并固定在靠近轨道的位置，沿轨道方向依次排列。

车辆轮对踏面缺陷在线检测方法及装置

技术领域

本发明涉及一种检测方法和检测装置，特别是一种轨道交通部门车辆轮对踏面缺陷的在线检测方法及检测装置，具体涉及用结构光源照射低速运行中的车辆轮对踏面，获得图像数据，并实时分析图像数据从而得到踏面缺陷参数的检测方法和装置。

背景技术

车辆轮对踏面缺陷包括踏面擦伤和踏面剥离。缺陷给列车在运行中带来额外的冲击振动，影响列车与轨道设施的安全与使用寿命，是高速列车和重载列车发展中急需解决的测量技术难题。因踏面擦伤和剥离引起的落轮占年落轮总数量的很大比例。轮对参数的检测方法和技术主要有运行状态下的在线检测、段修状态下的在线检测以及段修状态下的人工检测。

运行状态下的在线检测是指机车车辆在铁轨上运行时进行的检测。由于具有测量自动化程度高、不占用机车车辆周转时间和便于存储车轮信息资料等特点，日益受到世界各国的重视。目前有随车测量型和地面测量型两种。随车测量型就是在机车车辆上安装轮对参数的测量系统，目前仅有日本铁路对新干线电动车组开发试用了随车式车轮磨耗检测装置，而且不能检测踏面缺陷参数。地面测量型就是在铁轨边固定安装轮对参数的测量系统。20世纪80年代中期，德国率先利用电磁超声技术研制成功地面式车辆轮对踏面探伤装置。该探伤装置实现了运行中轮对缺陷的动态探伤，整套装置技术复杂、价格昂贵。段修状态下的在线检测是指在段修车间进行的检测，轮对需要从车辆中分离出来。目前已有多种这种状态下的在线检测方法和技术。段修状态下的人工检测是指在段修车间由人工借助专用测量器具进行的检测，轮对也需要从车辆中分离出来。

目前，我国铁路车辆轮对参数的检测大多数还停留在段修状态下的人

工检测阶段，工人劳动条件差、劳动强度大、劳动效率低，难以避免测量者的人为因素，影响了精度和可靠性。也有少量维修部门采用段修状态下的在线检测方法和技术，一定程度上克服了人工检测的缺点，但轮对需要从车辆中分离出来才能检测。

随着我国铁路不断提速以及重载列车的增加，轮对的磨损也不断加快，对轮对的检测和维修提出了更高的要求。因此研制运行状态下的轮对踏面缺陷在线检测方法和技术，已成为我国轨道交通发展中迫切需要解决的难题。运行状态下的轮对踏面缺陷在线检测方法和技术是我国数字化铁路的一个发展方向。数字化铁路的实现对我国铁路事业的发展具有重要的意义。对于车辆检修部门来讲，数字化的实现对从目前预防维修到将来状态修的过渡有着积极的意义。由于目前缺少较准确、快速和经济的轮对踏面缺陷自动检测手段，所以难以做到长期追踪记录列车轮对踏面参数。如果每次检查都能得到测量数据，则根据数据的积累和趋势分析，就可以对每条轮对进行擦伤和剥离的预测，从而有针对性地开展维修，大大减少维修成本。

发明内容

本发明的目的就是针对现有技术的不足，提供一种车辆轮对踏面缺陷在线检测方法并提供相应的检测装置。

本发明的检测方法是利用结构光光源在踏面缺陷上的投影信息检测踏面擦伤和踏面剥离两个缺陷参数，具体包括以下步骤：

(1)测速。列车运行到检测区间时，检测列车速度，当速度 V 在设定范围 ($0 < V < 10$ 千米/小时) 时启动检测单元。

(2)启动光源。由一系列有规则排列的光线组成的结构光照射到车辆轮对的踏面上，结构光在踏面上的投影通过线阵摄像机成像，形成踏面的投影图像。

(3)启动图像采集。当车辆轮对运行到设定位置时，测速位置传感器产生触发信号，实时检测此触发信号，控制图像采集装置采集一系列结构光

在踏面上的投影图像。相邻两幅图像之间的时间间隔根据实测车速确定。车轮的每一侧通过 3 台以上的摄像机，使拍摄的范围可以完整覆盖车轮踏面的一周。

(4)求无缺陷时的投影图像。对应每幅图像的采集时刻 t_x ，首先根据已知的踏面尺寸参数 $T(x,y,z)$ ，得到没有缺陷情况下在 t_x 时刻光源与踏面的交线 $C(x,y,z)$ ，以及该交线的投影图像 $P(\alpha,\beta)$ 。其中 α,β 为摄像机成像面的坐标， x,y,z 为物方空间坐标。

(5)求偏差图像。 t_x 时刻对应的实际拍摄图像为 $P'(\alpha,\beta)$ ，该图像包含了踏面上的缺陷信息，则实际图像与无缺陷图像的偏差图像 ΔP 为：

$$\Delta P = P'(\alpha,\beta) - P(\alpha,\beta)。$$

(6)判断偏差图像中是否存在缺陷。设 e 是判断缺陷是否存在的临界值， $e \leq 0.1\text{mm}$ 。如果 ΔP 中各像素的偏差值均小于 e ，则判断该图像上没有缺陷存在。反之则判断偏差图像中存在缺陷，且偏差值大于 e 的像素点对应踏面缺陷上的点。

(7)计算缺陷点的深度。根据图像采集时刻 t_x ，以及成像关系，可以得到每个缺陷点对应到物方空间的缺陷位置。同时，偏差图像 ΔP 中某点的偏差量 ΔP_i 与该点对应缺陷点的深度 d_i 、以及对应缺陷点处的切平面相对于光平面的夹角 ω 成正比。图像采集装置的位置关系确定后，角度 ω 是已知量。通过 ΔP_i 的值可以计算出对应缺陷点的深度 d_i 的值： $d_i = \Delta P_i \times \tan \omega$ 。

(8)生成缺陷图像。将一系列线阵图像拼接为一幅二维图像，并将没有缺陷的图像像素的灰度值置为 0，有缺陷的图像像素的灰度值置为该像素对应踏面缺陷点的缺陷深度 d_i ，则这幅二维图像即为踏面缺陷的图像。

(9)缺陷参数的计算。对于踏面擦伤参数，求出擦伤缺陷图像中最大的缺陷点的深度，即为踏面擦伤参数的值。对于踏面剥离参数，求出剥离缺陷图像中起始与终止缺陷点对应的滚动圆长度，即为踏面剥离参数的值。

相应的检测装置包括沿一段平直的轨道一侧靠近轨道的位置依次排列两个测速位置传感器和一个触发位置传感器。两个测速位置传感器用于检

测车辆的速度，两者之间的间距小于一个车轮的周长。触发位置传感器用于触发图像的采集。两个测速位置传感器和一个触发位置传感器的输出连接到信号处理装置中，将传感器的输出信号转变成计算机可以识别的数字信号。

在触发位置传感器前方在轨道外侧分别设置两套图像采集装置，沿两条轨道对称安装，分别用于采集左右车轮的踏面缺陷图像。

每套图像采集装置包括至少三台线阵摄像机和一个结构光光源。结构光光源与轨道斜向设置，产生的激光束照射到从检测装置通过的轮对的踏面上。摄像机设置在结构光光源和轨道之间，并固定在靠近轨道的位置，沿轨道方向依次排列。轮对通过时，按顺序依次启动，完成轮对一周的扫描，通过多台摄像机采集的图像拼接出整个踏面的缺陷图像。每台摄像机输出的图像通过图像采集装置输入到数字信号处理器(DSP)和计算机中进行分析处理，得到依次通过的每条轮对的踏面缺陷信息。

本发明通过结构光光源在线实时采集和处理有结构光条纹的踏面图像，获取轮对踏面缺陷的信息，通过多种数字图像处理技术对采集到的图像进行分析处理，最终计算出踏面缺陷参数。在整个检测过程中检测装置与轮对没有接触，检测装置不会产生磨损现象，检测装置易于维护；检测装置能够实时在线采集、处理分析。

附图说明

图 1：检测装置总体构成示意图；

图 2：速度检测原理示意图；

图 3：光源排列示意图；

图 4：光源照射踏面示意图；

图 5-1：点 P_x 处切线示意图；

图 5-2：点 P_x 处切线另一示意图；

图 6：公式 (7) 描述示意图；

图 7：缺陷图像示意图。

具体实施方式

在踏面缺陷检测系统之前，必须通过另外的检测装置预先在线检测得到轮对踏面的尺寸轮廓参数，每个轮对踏面的尺寸参数作为缺陷检测时的已知条件。

轮对踏面是左右车轮与铁轨的接触部分。踏面缺陷包括踏面擦伤和踏面剥离两个参数，分别以擦伤深度和沿车轮滚动圆方向的剥离长度来度量。

图 1 为检测装置总体构成示意图。沿轨道的一侧靠近轨道的位置依次排列两个测速位置传感器 1 和 2，一个触发位置传感器 4。结构光光源 5 和线阵摄像机 6、7 和 8 组成一套图像采集装置，分布在平直轨道 9 的外侧。结构光光源 11 及线阵摄像机 12、13 和 14 组成另一套图像采集装置，分布在轨道 10 的外侧。两套图像采集装置在轨道两侧呈对称式排列，分别用于轮对中左、右车轮的缺陷检测。结构光光源 5 和 11 产生的激光束照射到轮对 3 的踏面上。

利用列车运行过程中轮对的自身滚动完成对踏面的扫描，通过多台摄像机 6、7 和 8 及 12、13 和 14 依次在轮对经过时采集一系列图像，每侧 3 台以上的摄像机拼接出整个踏面的缺陷图像。图像的采集时序根据前端测速位置传感器 1 和 2 监控的列车速度，以及轮廓尺寸综合推算得到，并由触发位置传感器 4 的触发信号控制采集的开始时刻。图像的采集和处理通过计算机控制 DSP 实时完成，最终得到依次通过的每条轮对的踏面缺陷信息。

(1) 测速

图 1 中，轮对 3 以小于 10 千米/小时的速度经过检测区间，检测区间是一段平直直线轨道。轮对首先依次经过测速位置传感器 1 和 2，测速位置传感器可以在轮对到达对应位置时发出触发信号，触发信号经过信号处理装置后连接到计算机。

如图 2 所示，利用同一轮对经过测速位置传感器 1 和 2 的时间差 Δt

和测速位置传感器 1 和 2 之间的固定距离 s ，得到列车经过测速位置传感器 2 时刻的速度值：

$$v = \frac{S}{\Delta t} \quad (1)$$

由此可以得到依次经过的 n 个轮对的速度值，组成一个速度值序列 $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ 。通过速度值序列，可以计算出 t_x 时刻列车的速度，进而求出其前进方向的位置 x 。只有检测到速度在设定范围 ($0 < v < 10$ 千米/小时) 时才启动后续检测单元，否则车辆仅通过检测区间而不检测。车辆轮对的测速已有多种成熟的技术可以实现。

(2) 启动光源

当速度在设定范围时光源启动。光源启动后，由一系列有规则排列的光线组成的结构光照射到车辆轮对的踏面上，结构光在踏面上的投影通过线阵摄像机成像，形成踏面的投影图像。

(3) 启动图像采集

触发位置传感器 4 在车辆轮对运行到设定检测位置时产生触发信号，触发信号经过信号处理装置后连接到计算机，触发时刻为启动图像采集的开始时刻。计算机实时检测到此触发信号时，控制图像采集装置采集一系列结构光在踏面上的投影图像。相邻两幅图像之间的时间间隔根据实测车速确定。车轮的每一侧通过三台以上的摄像机，使拍摄的范围可以完整覆盖车轮踏面的一周。

(4) 求无缺陷时的投影图像和偏差图像

如图 3 所示，结构光光源 5 由三组光源组成，每组光源又由一系列单线条激光光线平行排列构成。三组光源照射的区域分别对应三台摄像机的拍摄范围。摄像机 6、7 和 8 在轮对到达位置 x_1 、 x_2 、 x_3 (对应时间点分别为 t_{x1} 、 t_{x2} 、 t_{x3}) 后分别开始采集一系列图像，每台摄像机采集图像的区域分别对应三组光源照射的三段范围，使得三台摄像机采集的图像可以完整覆盖车轮踏面的一周。

如图 4 所示，假设结构光光源中各条光线的三维函数分别为

$L_1(x, y, z)$ 、 $L_2(x, y, z)$ 、 $L_3(x, y, z) \dots L_k(x, y, z)$ ，图中表示的是第 n 条光线的空间平面函数 $L_n(x, y, z)$ ， ABC 所在的平面是此光线的照射面。那么通过 k 条光线的组合可以得到空间分布函数

$$L(x, y, z) = \sum_{n=1}^k L_n(x, y, z) \quad (2)$$

根据公式 (1)，得到速度—时间曲线后，可进一步求得在 t_x 时刻，轮对的位置 X ，此时根据踏面的尺寸参数 $T(x, y, z)$ （该尺寸参数需在缺陷检测前预先检测出来，在缺陷检测时作为已知参数），可以求得在 t_x 时刻，轮对踏面在检测装置坐标系 $OXYZ$ 内的函数 F_x ：

$$F_x = S(T(x, y, z), X) \quad (3)$$

已知结构光光源的空间分布函数 $L(x, y, z)$ 以及踏面函数 $S(T(x, y, z), X)$ ，就可以求得结构光光源发出的每条光线与踏面的空间交线的空间曲线：

$$C(x, y, z) = I(L(x, y, z), S(T(x, y, z), X)) \quad (4)$$

将摄像机成像关系记为 $(\alpha, \beta) = CCD(x, y, z)$ ，其中 α, β 为成像面坐标， x, y, z 为空间坐标。则踏面上空间任一点 $a(x, y, z)$ 在摄像机成像面上的像点为 $a'(\alpha, \beta)$ 。因此，在 t_x 时刻，没有缺陷情况下，踏面上光源与踏面交线 $C(x, y, z)$ 的图像就可以被计算出来，记为：

$$P(\alpha, \beta) = CCD(C(x, y, z)) \quad (5)$$

而 t_x 时刻对应的实际拍摄图像为 $P'(\alpha, \beta)$ ，实际拍摄图像 $P'(\alpha, \beta)$ 包含了踏面上的缺陷信息，则：

$$\Delta P = P'(\alpha, \beta) - P(\alpha, \beta) \quad (6)$$

公式 (6) 反映的是实际图像与无缺陷图像的偏差。

(5) 判断偏差图像中是否存在缺陷

设 e 是判断缺陷是否存在的临界值。如果 ΔP 中各像素的偏差值均小于 e ，则判断该图像上没有缺陷存在。反之则判断偏差图像中存在缺陷，且偏差值大于 e 的像素点对应为踏面缺陷上的点。

(6) 计算缺陷点的深度

如图 4 所示，设 P_x 是光平面 ABC 与踏面的交线上的一点，过点 P_x 作

一条与滚动圆平行圆周的切线 1(如图 5-1 所示, 虚线表示滚动圆)、再过点 P_x 作一条踏面轴向轮廓线的切线 2(如图 5-2 所示, 弧线 EF 为点 P_x 处踏面轴向的轮廓线), 切线 1、切线 2 所构成的平面, 称为点 P_x 的切平面。

偏差图像中任一点的偏差量 ΔP_i 与踏面上对应点 P_x 处缺陷的深度 d_i 、以及光平面 ABC 与点 P_x 的切平面所成的角度 ω 成正比。图像采集装置的位置关系确定后的, 角度 ω 是已知量, 因此通过 ΔP_i 的值可以计算出对应缺陷点的深度 d_i 的值:

$$d_i = \Delta P_i \times \tan \omega \quad (7)$$

公式 (7) 的示意图如图 6 所示, 弧线 EF 为踏面的轮廓, 假设在虚线处出现凹陷, 则光平面与 EF 的交点将从 P_x 移到 P_x' , ΔP 即为两点偏移的程度, ω 即为光平面与点 P_x 的切平面之间的夹角。根据公式 (7) 可计算出偏差图像中各缺陷点对应的踏面缺陷深度。

(7) 生成缺陷图像

每台线阵摄像机采集的一系列线阵图像完整覆盖车轮踏面的一周, 通过以上第 4、第 5、第 6 步的分析处理, 可以确定这些线阵图像中是否存在踏面缺陷、以及存在缺陷时缺陷的深度。将一系列线阵图像拼接为一幅二维图像, 并将没有缺陷的图像像素的灰度值置为 0, 有缺陷的图像像素的灰度值置为该像素对应踏面缺陷点的缺陷深度 d_i , 则这幅二维图像即为踏面缺陷的图像, 缺陷图像示意图见图 7。

(8) 缺陷参数的计算

在图 7 中, C_1 表示踏面上存在缺陷的区域, 称为缺陷 C_1 , C_2 为无缺陷区域。缺陷 C_1 由一系列缺陷点组成, 在缺陷 C_1 内部, 若各缺陷点的深度值沿滚动圆方向符合逐渐增大、再逐渐减小的分布规律, 则认为该缺陷属于踏面擦伤, 否则认为该缺陷属于踏面剥离。

由于每个缺陷点对应的缺陷深度 d_i 已知, 因此可以得到缺陷 C_1 中的最大缺陷深度 d_{\max} , d_{\max} 即为缺陷 C_1 的深度。设缺陷 C_1 沿滚动圆方向的起点为 M, 终点为 N, 则 M、N 之间对应的沿滚动圆方向的长度 l 即为缺陷

C_1 的长度。若缺陷图像中出现多处缺陷，则同样可计算出每个缺陷的深度和长度。

若缺陷 C_1 属于踏面擦伤，则缺陷 C_1 中的最大缺陷深度 d_{\max} 即为踏面擦伤参数的值。若缺陷 C_1 属于踏面剥离，则缺陷 C_1 的长度 l 即为踏面剥离参数的值。

依次得到踏面擦伤和踏面剥离的值之后，再根据有关的维修标准进一步判断踏面缺陷是否过限，并采取对应的维修措施。

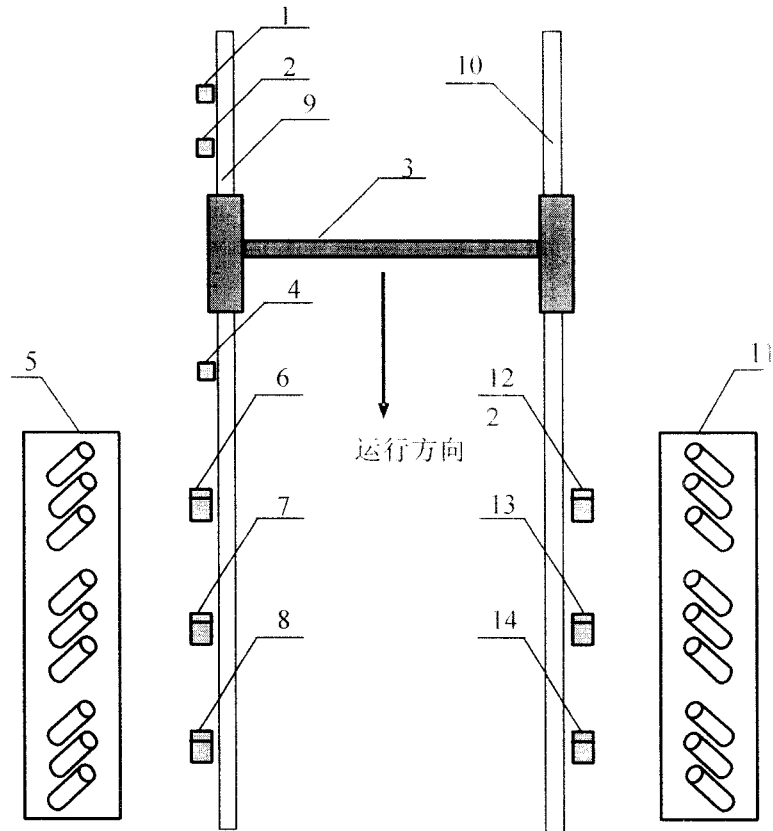


图 1

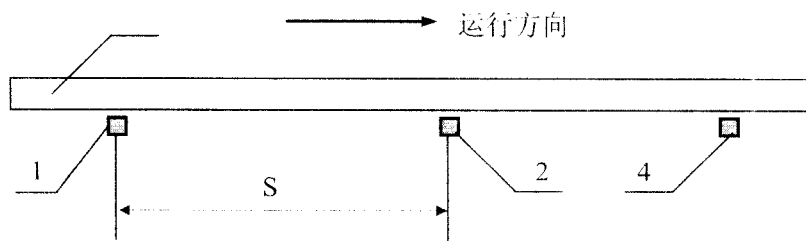


图 2

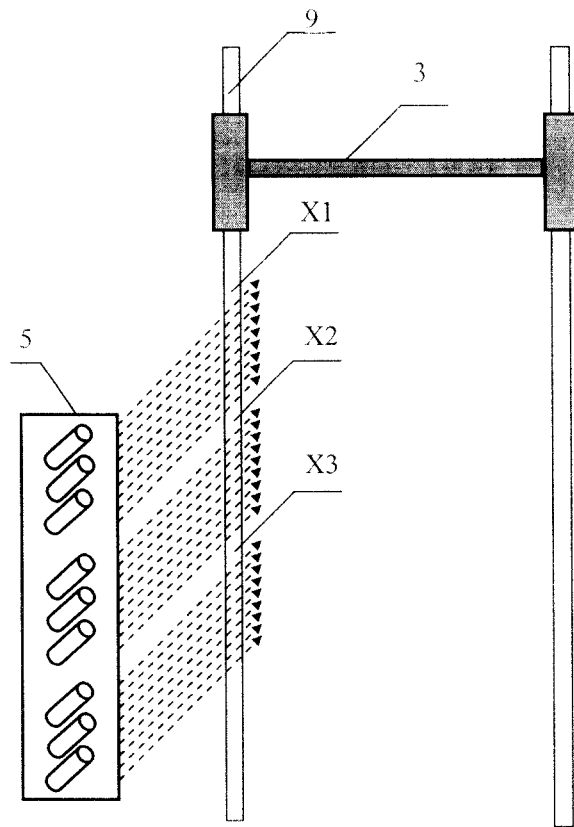


图 3

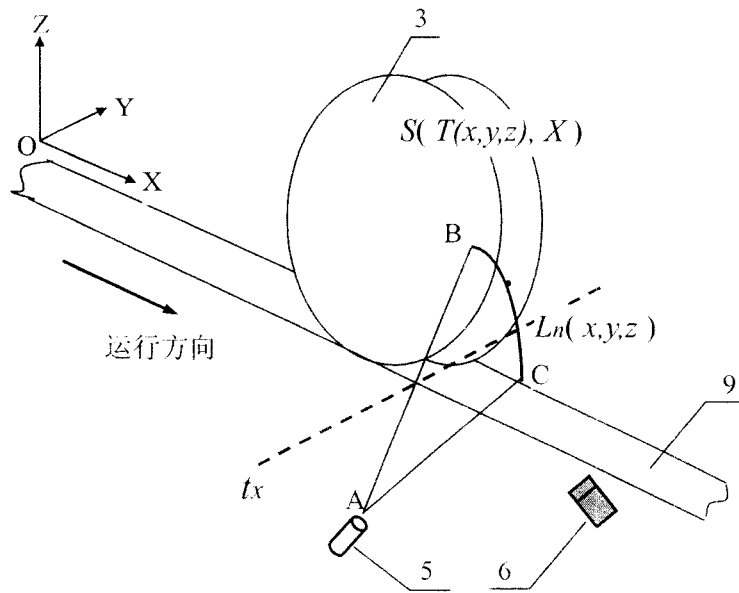


图 4

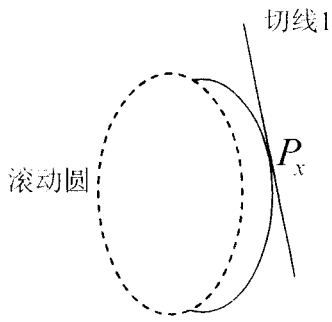


图 5-1

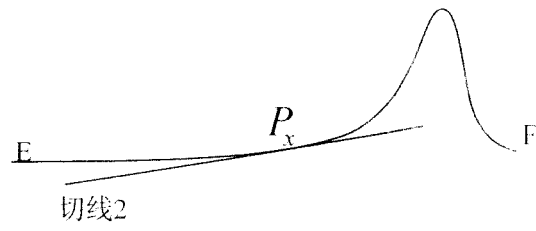


图 5-2

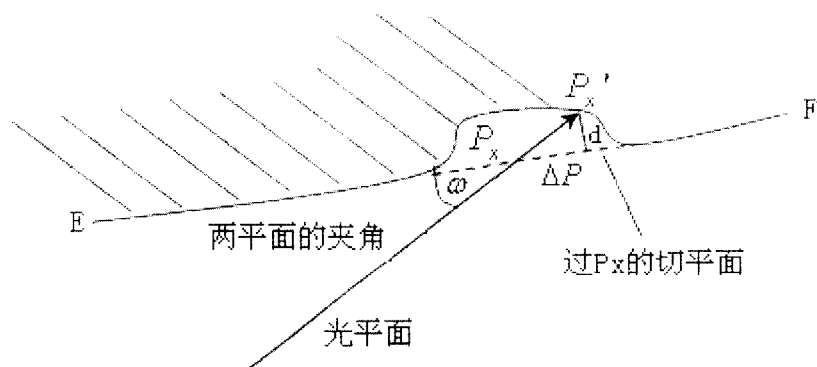


图 6

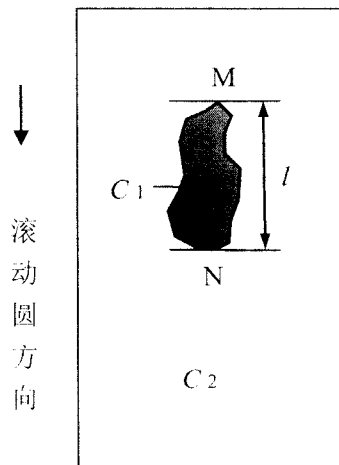


图 7