



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 202421133 U

(45) 授权公告日 2012. 09. 05

(21) 申请号 201120505936. 1

(22) 申请日 2011. 12. 07

(73) 专利权人 暨南大学

地址 510632 广东省广州市黄埔大道西 601 号

(72) 发明人 马宏伟 宋振华

(74) 专利代理机构 广州市华学知识产权代理有限公司 44245

代理人 陈燕娴 杨晓松

(51) Int. Cl.

G01N 29/09 (2006. 01)

G01N 29/07 (2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

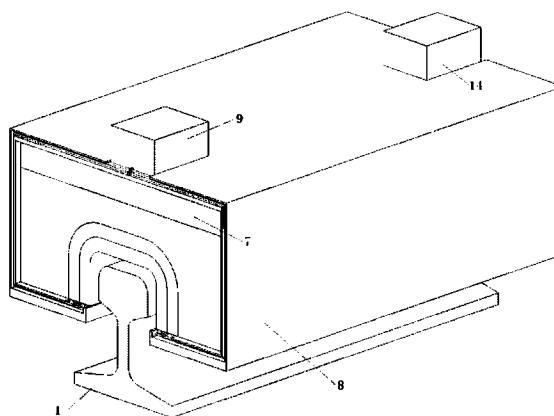
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 6 页

(54) 实用新型名称

基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置

(57) 摘要

本实用新型公开了一种基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置,应用于铁路轨道交通无损检测领域,该装置内包括外壳,以及设置在外壳内的内层线托、内层线圈、外层线托、外层线圈、轭铁、永磁体,以及设置在外壳一端的电流输入端口、内层线圈电流输入电线、内层线圈电流输出电线,以及设置在外壳另一端的外层线圈电流输出电线、外层线圈电流回路电线、电压输出端口,所述外壳上部与铁轨检测车固定连接。本实用新型可以对铁轨内外部微小损伤均能进行精确检测,检测距离长,检测效率高。



1. 基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置,其特征在于,包括外壳,以及设置在外壳内的内层线托、内层线圈、外层线托、外层线圈、轭铁、永磁体,以及设置在外壳一端的电流输入端口、内层线圈电流输入电线、内层线圈电流输出电线,以及设置在外壳另一端的外层线圈电流输出电线、外层线圈电流回路电线、电压输出端口,所述外壳上部与铁轨检测车固定连接;所述内层线托为一个下端开口的长方体,其下端开口部位形状与铁轨轨头的形状相匹配,内层线圈布置于内层线托上,外层线托设置在内层线圈的外部,与内层线托边缘固定连接,外层线圈布置在外层线托上,轭铁设置在外层线托的外侧,轭铁内侧与外层线托的边缘相固定,永磁体粘贴在轭铁外侧顶端,永磁体顶端与外壳顶端内侧相固定,内层线托和轭铁底端均固定设置在外壳底端两侧边缘上;所述内层线圈和外层线圈均为若干段交替正负极线圈组成;所述内层线圈下端有4根导线,两根与内层线圈电流输入电线相连,两根与内层线圈电流输出电线,电流输入端口均与内层线圈电流输入电线和内层线圈电流输出电线连接;所述外层线圈下端有4根导线,两根与外层线圈电流输出电线相连,两根与外层线圈电流回路电线,电流输入端口均与外层线圈电流输出电线和外层线圈电流回路电线连接;所述电流输入端口和电压输出端口均分别固定在外壳外侧顶端的两端;所述电流输入端口与外部信号发生器相连,电压输出端口与外部信号处理设备相连。

2. 根据权利要求1所述的基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置,其特征在于,所述内层线圈和外层线圈中导线直径由其所激励和接受超声导波信号的频率和波长决定。

3. 根据权利要求2所述的基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置,其特征在于,所述内层线圈和外层线圈中的导线为硬质线圈或软质电路线。

4. 根据权利要求3所述的基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置,其特征在于,所述内层线圈和外层线圈中每段交替正负极线圈的宽度为超声导波波长的一半。

5. 根据权利要求1所述的基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置,其特征在于,所述外部信号发生器具体包括:用于产生检测所需频率电信号的波形发生器;用于将电信号放大的功率放大器。

6. 根据权利要求1所述的基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置,其特征在于,所述外部信号处理设备具体包括:用于将电动势信号转换成数字信号的前置调理电路;数据采集器;用于计算损伤位置和损伤大小的处理器。

## 基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及轨道交通无损检测领域,特别涉及一种基于磁致伸缩技术和纵向超声导波技术的铁轨损伤检测装置。

### 背景技术

[0002] 目前轨道交通无损检测领域大多是利用漏磁法、渗透法、涡流法等检测手段对铁轨进行损伤检测。同时,人们还在使用射线法和超声波法对轨道损伤程度进行监测。现在广为应用的为轨道检测车技术。该检测系统主要是在后置发动轨道检测车平台上集合了超声波和电磁感应检测技术及光学传感器。此外,英国帝国理工大学开发了一款基于压电传感器的纵向超声导波铁轨损伤检测设备。美国加州大学圣地亚哥分校设计并制造了一款基于激光技术的弯曲模态超声导波铁轨损伤检测设备。

[0003] 上述方法都分别存在如下不同程度的缺陷:

[0004] (1) 漏磁法,如 K. Sawley, R. Reiff. 等发表的题目为《An assessment of Railtrack's methods for managing broken and defective rail.》的文章,此方法现场应用非常简单,可直接检测表面缺陷,但如被检工件表面有涂层或潮湿,检测可靠性将大为降低,所以必须先去除涂层,擦干表面。这就大大地局限了这种方法在实际使用中的效率。

[0005] (2) 渗透法,该方法对表面开口裂纹检测灵敏度很高,但对表面有涂层及潮湿的工件就不理想,且对缺陷的判定有赖检验人员的经验,这也不能够满足大规模铁轨损伤检测的需要。

[0006] (3) 涡流法,该方法是建立在电磁感应的基础上,利用在交变磁场作用下,不同材料会发生不同振幅和相位的涡流来检测铁磁性和非铁磁性材料的物理性能、缺陷和结构情况的差异。对于铁磁性材料,通常将其磁化至饱和状态,再按非铁磁性材料进行检测。但是涡流检测法和如上两种方法都只能检测金属导体的表面或近表面缺陷,检测深度很浅,对铁轨内部的损伤无法获知。

[0007] (4) 射线法对工件表层下缺陷的检测很有效,但射线辐射危害人体,检测时必须进行安全防护,且有些工况不易实施。

[0008] (5) 超声波检测法对工件表层下缺陷的检测很有效,但检测时需耦合剂,效率较低,对缺陷的判定也有赖技术人员的经验。更主要的是该方法采用点对点测量方式,只能检测传感器下方的局部范围内的结构,未能有效的将超声波的能量聚焦到铁轨的纵向方向,因此其定向性不强,导致检测效率低且对损伤程度的评估较难实现。该方法检测速度慢且检测范围相对于成百上千公里的铁轨线路而言过于短小。部署超声波设备的轨道检测车的速度被该设备的检测原理极大限制。因此,将如上检测技术结合光学检测系统中,“数据超载”仍是一个明显的问题。但另一方面,通过数学原理计算并处理这些数据时,这些数学的方法并不擅长于处理轨道中出现的异常特征,如轨道的交叉口等。

[0009] (6) 英国帝国理工大学设计的基于压电传感器的纵向超声导波铁轨损伤检测设备因为压电传感器需要与铁轨之间密切接触,所以需要铁轨表面被检测部位涂有耦合剂,这

就使得被夹压该传感器的部位铁轨必须保持光洁平整,不能出现锈蚀,否则很难实现耦合。但该设备的最大问题是压电传感器为接触式导波激发和接受装置,因此,每次检测至少需要 20 分钟且检测时设备不能在铁轨上移动,无法实现在线损伤检测。这一点对于成千上万公里的铁轨而言大大制约了检测效率。

[0010] (7) 美国加州大学圣地亚哥分校所研发的设备虽然使用了非接触式的激光技术激发超声导波,但该技术所激发的超声导波为弯曲模态。该模态与纵向导波相比传播距离短,干扰信号多。激光信号放大器不稳定且检测信号噪声过大。因此,该检测设备所搭载的轨道检测车仅能以 10 英里/小时的速度对铁轨进行移动检测,该效率仍然不能满足大规模铁轨损伤检测的要求。

[0011] 因此,需要提供一种不仅可以对铁轨内外部损伤均进行精确检测,而且检测效率高的铁轨损伤检测装置。

### 实用新型内容

[0012] 本实用新型的主要目的在于克服现有技术的缺点与不足,提供一种基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置,该装置可以对铁轨内外部损伤均能进行精确检测,检测距离长,检测效率高。

[0013] 本实用新型的主要目的通过以下的技术方案实现:一种基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置,包括外壳,以及设置在外壳内的内层线托、内层线圈、外层线托、外层线圈、轭铁、永磁体,以及设置在外壳一端的电流输入端口、内层线圈电流输入电线、内层线圈电流输出电线,以及设置在外壳另一端的外层线圈电流输出电线、外层线圈电流回路电线、电压输出端口,所述外壳上部与铁轨检测车固定连接;所述内层线托为一个下端开口的长方体,其下端开口部位形状与铁轨轨头的形状相匹配,内层线圈布置于内层线托上,外层线托设置在内层线圈的外部,与内层线托边缘固定连接,外层线圈布置在外层线托上,轭铁设置在外层线托的外侧,轭铁内侧与外层线托的边缘相固定,永磁体粘贴在轭铁外侧顶端,永磁体顶端与外壳顶端内侧相固定,内层线托和轭铁底端均固定设置在外壳底端两侧边缘上;所述内层线圈和外层线圈均为若干段交替正负极线圈组成;所述内层线圈下端有 4 根导线,两根与内层线圈电流输入电线相连,两根与内层线圈电流输出电线,电流输入端口均与内层线圈电流输入电线和内层线圈电流输出电线连接;所述外层线圈下端有 4 根导线,两根与外层线圈电流输出电线相连,两根与外层线圈电流回路电线,电流输入端口均与外层线圈电流输出电线和外层线圈电流回路电线连接;所述电流输入端口和电压输出端口均分别固定在外壳外侧顶端的两端;所述电流输入端口与外部信号发生器,电压输出端口与外部信号处理设备。

[0014] 具体的,所述内层线圈和外层线圈中导线直径由其所激励和接受超声导波信号的频率和波长决定。

[0015] 具体的,所述内层线圈和外层线圈中的导线为硬质线圈或软质电路线,例如可以是漆包线等硬质线圈,也可以是印刷电路板的排线等软质电路线。

[0016] 优选的,所述内层线圈和外层线圈中每段交替正负极线圈的宽度为超声导波波长的二分之一。

[0017] 具体的,所述外部信号发生器具体包括:用于产生检测所需频率电信号的波形发

生器；用于将电信号放大的功率放大器。

[0018] 具体的，所述外部信号处理设备具体包括：用于将电动势信号转换成数字信号的前置调理电路；数据采集器；用于计算损伤位置和损伤大小的处理器。

[0019] 一种基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测方法，首先外部信号发生器产生检测用信号，经放大后输入到电流输入端口，内层线圈根据输入信号的变化产生一个动态磁场，同时与永磁体产生的磁场发生耦合，激发出沿铁轨纵向传播的超声导波，一旦超声导波遇到铁轨缺陷，会传回一个缺陷反射信号，该缺陷反射信号被转化成该频率的交变磁场，该交变磁场在外层线圈中激发出感应电动势，根据该感应电动势来间接测量缺陷反射导波信号产生的时间和强度，从而确定损伤的位置和损伤的大小。

[0020] 具体包括以下步骤：

[0021] (1) 根据铁轨型号和截面尺寸计算得到铁轨的频散曲线，根据频散曲线选择该类型铁轨超声导波损伤检测的导波中心频率；

[0022] (2) 通过波形发生器产生一个检测所需的电信号，该电信号波形与检测导波波形和导波中心频率一致；然后将此电信号导入功率放大器，将电信号进行放大；

[0023] (3) 将放大后的电信号经电流输入端口进入内层线圈，内层线圈中各段交替正负极线圈在电信号作用下在铁轨内产生相应频率的动态磁场，该磁场与永磁体产生的静态偏置磁场发生耦合，使得被检测物体的磁化状态发生该频率下的变化，使得被检测物体纵向尺寸上发生变化，即磁致伸缩应变，从而激发超声导波，超声导波沿铁轨纵向传播，同时，外层线圈通过磁致伸缩的逆效应产生一个与所激励的超声导波相对应的一个初始感应电动势，该初始感应电动势通过电压输出端口输出到外部信号处理设备，外部信号处理设备记录该初始感应电动势的大小和产生时间；

[0024] (4) 一旦有超声导波遇到铁轨缺陷，会传回一个缺陷反射信号，利用磁致伸缩的逆效应，外层线圈内会产生一个与之频率相同的交变磁场，该交变磁场在外层线圈中激发出一个与缺陷反射导波相对应的反馈感应电动势，该反馈感应电动势通过电压输出端口输出到外部信号处理设备，外部信号处理设备记录该反馈感应电动势的大小和产生时间；

[0025] (5) 根据感应电动势与超声导波信号强度的关系式、初始感应电动势和反馈感应电动势的大小以及感应电动势和超声导波信号强度之间的定量关系，通过初始感应电动势与反馈感应电动势的强度换算并测量缺陷反射导波信号的强度，从而确定损伤的大小程度；根据应力波原理确定超声导波信号强度与缺陷大小之间的定量关系，同时，通过设备所记录的缺陷反射信号产生的感应电动势的时间与激励超声导波产生的感应电动势的时间之间的时间差，以确定超声导波在铁轨中传播的距离，从而获得缺陷存在的准确位置。

[0026] 本实用新型中所使用的超声导波法损伤检测原理是依据弹性应力波传播原理。即，超声导波属于弹性应力波的一种传播情况，如图 7 所示。弹性应力波沿着细长杆系结构（如：铁轨，管道等）传播时，当遇到该结构因几何尺寸或形状变化所引起的波阻抗变化，如：铁轨中存在裂缝 18，该裂缝所在截面（可为横截面或斜截面）几何尺寸发生变化时，铁轨在该截面处必定发生波阻抗的变化。根据应力波原理，当沿着细长结构中被激励纵向超声导波 15，其传播至裂缝 18 时，波阻抗会发生变化，原有入射的纵向超声导波 15 会反射一部分回来形成缺陷反射波 16，一部分会透射过该截面继续传播形成透射波 17。因此，通过记录缺陷反射波 16 信号的到达时间并乘以该波在铁轨中传播的速度则可判定损伤存在的

位置。该原理的好处在于,当结构几何尺寸发生微小的目测不可见的损伤时,其波阻抗的变化已经相当巨大,以至于足够引起一个可以被示波器记录并可观察到的缺陷反射信号。所以,该方法对于发现微小的早期裂纹和铁轨内部的裂缝有着显著的意义,可以极大地降低事故发生的概率。

[0027] 磁致伸缩传感器的检测原理是通过磁致伸缩现象实现的。如图 1 所示其构造是在被检测物体外部放置一个永磁体将被检测物体磁化,因此它要求被检测物体为铁磁体。并在被检测物体表面附近(非接触)布置一层线圈(本设计的内层线圈为 3)。当线圈通入以某频率变化的电流时,会在被检测物体内产生相应频率的动态磁场,该磁场与永磁体产生的静态偏置磁场发生偶合,使得被检测物体的磁化状态发生该频率下的变化,使得被检测物体纵向尺寸上发生变化,即磁致伸缩应变,从而激发超声导波。反之,利用磁致伸缩的逆效应,当缺陷反射信号传回时,会产生一个与之频率相同的动态变化磁场,同时在线圈(本实用新型中的外层线圈 5)内产生感应电动势,通过外层线圈 5 测量这个感应电动势的大小就可以获取导波的缺陷发射信号。通过记录内层线圈 3 激励信号与外层线圈 5 接收到的缺陷回波引起的感应电动势之间的时间差,就可以确定损伤的位置。因为线圈与被检测物体之间有一定的距离,因此这种传感器的好处在于可实现对长距离,大范围的铁磁体进行非接触式损伤检测,并能适应较高的温度和恶劣的工作环境,适合用于轨道检测车在运行中的铁轨的在线损伤检测。

[0028] 本实用新型装置的工作原理是通过该设备中的永磁体将轭铁磁化,从而在其周围产生一个静态偏置磁场,并将被该设备覆盖区域的铁轨磁化。然后通过信号发生装置向电流发生器中输入固定频率的交变电流信号(例如,常用的 300KHz 汉宁窗调制的 10 个周期正弦电信号)。该电流按照内层线圈铺设规律传导,其通过电磁效应会产生一个与所通电流变化频率一样的动态磁场,将永磁体产生的静态磁场打乱,铁轨表面磁化状态发生该频率的交替变化,从而在其纵向产生该频率下的尺寸变化,继而激励出该频率的纵向超声导波,如图 3 所示。当纵向超声导波遇到缺陷发生反射并传递到该设备处,根据磁致伸缩的逆效应原理,该频率的缺陷反射信号会被转化成该频率的交变磁场,且交变磁场强度与导波信号强度存在定量关系。同时,该交变磁场会在外层线圈中激发出感应电动势,该线圈导线与后端电压输出端口相连接将感应电动势输出。

[0029] 感应电动势与超声导波信号强度之间存在如下函数关系:

$$[0030] \quad V_R(k,t) = -\frac{2\pi k w \mu_r^2 \lambda^2 n s H_0}{E} \left| \int_0^l f(\xi) e^{jk\xi} d\xi \right|^2 e^{-jk(d-vt)};$$

[0031] 其中  $k$  为超声导波波数,  $n$  为接收线圈的匝数,  $s$  为接收线圈的横截面积,  $l$  为接收线圈的长度,  $d$  为接收线圈与激励线圈间的轴向距离,  $v$  为铁磁材料中超声导波波速,  $\mu_r$  为铁磁材料相对磁导率,  $\lambda$  为铁磁材料磁致伸缩常数,  $H_0$  是线圈匝数和电流的函数。

[0032] 通过该公式可以确定感应电动势的大小与超声导波的强度之间的定量关系;同时,根据应力波原理可以确定超声导波信号强度与铁轨缺陷大小之间的定量关系;且感应电动势产生的时间与激励导波的时间存在时间差,这个时间差即为导波在铁轨中传播且遇到缺陷反射后传回激发位置的时间。因此,可以通过仪器测量该感应电动势来间接测量缺陷反射导波信号产生的时间和强度,从而确定损伤的位置和损伤的大小。

[0033] 本实用新型与现有技术相比,具有如下优点和有益效果:

[0034] 本实用新型所依据的方法是将磁致伸缩技术和纵向超声导波法均应用于铁轨损伤检测,纵向超声导波区别于传统的超声波,其具有很强的定向性,类似于激光和普通光的区别。该检测法是对长距离杆状结构损伤检测的方法之一。由于该方法使用的超声导波能够有效的在铁轨表面激发,使导波可在铁轨整个截面内分布并沿着铁轨纵向高速传播。因此该方法不仅能检测铁轨断裂等铁轨截面严重损伤,同时可以检测出铁轨表面及内部早期不可见的线状微小裂纹,所以该方法可提高铁轨损伤早期识别的效率。同时由于导波在介质中传播的速度如声速在该介质中传播的速度一样快,因此该检测方法效率极高。该方法方向性好,穿透能力强,能量高(能量大于声波)且较为集中。磁致伸缩传感器的检测原理是通过磁致伸缩现象实现的。这种传感器的好处在于可实现长距离大范围的铁磁体非接触式损伤检测,并能适应较高的温度和恶劣的工作环境,适合用于轨道检测车在运行中的铁轨的在线损伤检测。通过二者结合不仅仅可以检查铁轨表面的几何平整度,同时可以发现铁轨表面及内部的微小裂纹及核伤,能够有效地发现铁轨早期损伤,降低因铁轨损伤或断裂等原因造成的事故概率。该方法检测距离长,检测效率高。每次激发超声导波和完成损伤检测仅需要几百微秒,因此该设备可以搭载在轨道检测车上实现对铁轨的在线损伤检测。

#### 附图说明

[0035] 图 1 是本实用新型装置机械部分结构示意图;

[0036] 图 2 是图 1 所示结构分解示意图;

[0037] 图 3 是本实用新型内层线圈与电路连接方式及与内层线托摆放位置示意图;

[0038] 图 4 是本实用新型内层线圈与电流发生器的电路原理示意图;

[0039] 图 5 是本实用新型外层线圈与电路连接方式及与外层线托摆放位置示意图;

[0040] 图 6 是本实用新型外层线圈与电压感应器的电路原理示意图;

[0041] 图 7 是纵向超声导波损伤检测原理示意图;

[0042] 图 8 是铁轨中磁致伸缩激励超声导波原理示意图;

[0043] 图 9 是本实用新型装置操作流程示意图;

[0044] 图 10 是实施例本实用新型装置应用时的外观示意图;

[0045] 图 11 是本实用新型实施例中所测得的信号图。

[0046] 图 2 中:1-铁轨;2-线托;3-内层线圈;4-外层线托;5-外层线圈;6-轭铁;7-永磁体;8-外壳;9-电流输入端口;10-内层线圈电流输入电线;11-内层线圈电流输出电线;12-外层线圈电流输出电线;13-外层线圈电流回路电线;14-电压输出端口。

[0047] 图 4 中:①-内层线圈第一段交替正负极布置的线圈;②-内层线圈第二段交替正负极布置的线圈;③-布置在内层线圈底部左侧与前端内层线圈电流输入电线相连导线;④-布置在内层线圈底部左侧与前端内层线圈电流输出电线相连导线;⑤-布置在内层线圈底部右侧与前端内层线圈电流输入电线相连导线;⑥-布置在内层线圈底部右侧与前端内层线圈电流输出电线相连导线。

[0048] 图 6 中:⑦-外层线圈第一段交替正负极布置的线圈;⑧-外层线圈第二段交替正负极布置的线圈;⑨-布置在外层线圈底部左侧与后端外层线圈电流回路电线相连导

线；(f) - 布置在外层线圈底部左侧与后端外层线圈电流输出电线相连导线；(g) - 布置在外层线圈底部右侧与后端外层线圈电流输出电线相连导线；(h) - 布置在外层线圈底部右侧与后端外层线圈电流回路电线相连导线。

[0049] 图 7 中：15- 入射的纵向超声导波；16- 缺陷反射波；17- 透射波；18- 裂缝。

[0050] 图 8 中：19- 通过信号发生装置向电流发生器中输入的固定频率的交变电流信号。

[0051] 图 9 中：20- 本实用新型中铁轨损伤检测装置机械部分。

[0052] 图 10 中：21- 第一个在轨底支座部位预设的初缺陷；22- 第二个在轨底支座部位预设的初缺陷；23- 第三个在轨底支座部位预设的初缺陷。

[0053] 图 11 中：24- 示波器记录的初始感应电动势；25- 示波器记录的缺陷 23 对应的反馈感应电动势；26- 示波器记录的缺陷 22 对应的反馈感应电动势；27- 示波器记录的缺陷 21 对应的反馈感应电动势；28- 端部反射信号对应的感应电动势。

### 具体实施方式

[0054] 下面结合实施例及附图对本实用新型作进一步详细的描述，但本实用新型的实施方式不限于此。

[0055] 实施例 1

[0056] 一种基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测装置，其具有检测距离长，检测时间短，非接触式轨道检测车在线运行中实时检测，并可发现铁轨早期裂纹损伤等优点。其机械部分如图 1 所示。其外观为一个下端开口的长方体，下端开口部位形状与铁轨轨头的形状相似，比铁轨要稍大以确保其与铁轨的非接触；上部与轨道检测车连接。其包括内层线托 2、内层线圈 3、外层线托 4、外层线圈 5、轭铁 6、永磁体 7、外壳 8、电流输入端口 9、电内层线圈电流输入电线 10、内层线圈电流输出电线 11、外层线圈电流输出电线 12、外层线圈电流回路电线 13、电压输出端口 14，具体如图 2 所示。内层线托 2 放置于外壳 8 上并固定。内层线圈 3 放置于内层线托 2 上，并与内层线圈电流输入电线 10、内层线圈电流输出电线 11 及电流输入端口 9 连接，连接方法如图 3 所示。其电路原理如图 4 所示，内层线圈 3 分为若干段交替正负极线圈，本实施例图示为三段，(i)段和(ii)交替布置，在内层线圈 3 下端有 4 根导线，线(a)、(d)与前段端层线圈电流输入电线 10 相连，线(b)、(c)与内层线圈电流输出电线 11 相连，两电线与电流输入端口 9 相连。根据电流输入和输出电线摆放的位置，各段线圈交替电流方向。即：第一段线圈(i)右端与线(a)连接，线(a)与内层线圈输入电线相连 10，左端与线(d)连接，线(d)又与内层线圈电流输出电线 11 相连，实现电流从右向左传导，其中虚线箭头代表第一段线圈(i)的电流传导方向；第二段线圈(ii)则左端与线(c)连接，线(c)又与内层线圈输入电线 10 相连，右端与线(b)连接，线(b)又与内层线圈电流输出电线 11 相连，实现电流从左向右传导，图中实线箭头代表第二段线圈(ii)中电流方向；第三段线圈与第一段线圈(i)一样，为重复第一段连接法。如图 2 所示，外层线托 4 放置在内层线托 2 边缘上，使得内层线托 2 的边缘对外层线托 4 起到支撑作用。将外层线圈 5 布置在外层线托 4 上，如图 5 所示，并与后端外层线圈电流输出电线 12、外层线圈电流回路电线 13 及后段电压感应器连接 14，如图 6 所示。外层线圈 5 本身不通入电流，其会因磁场变化在线



圈内产生感应电动势,其分为若干段交替正负极线圈(图示为三段,④段和⑤交替布置),电路连接方法与内层线圈和导线的连接方法一样交替线圈段④和线圈段⑤中电流正负。具体电路连接方法如图 5 所示。图中实线代表外层线圈段④的电流方向,虚线代表外层线圈段⑤中的电流方向。如图 2 所示,内层线圈 3 通过外层线托 4 与外层线圈 5 实现绝缘分离。轭铁 6 内侧与外层线托 4 的边缘相固定,并通过外层线托 4 的边缘对其起到支持作用;同时,轭铁 6 底端两侧放置在外壳 8 底端两侧边缘上,并通过外壳底端两侧边缘对其起到固定和支撑作用。永磁体 7 与轭铁 6 相粘贴,以实现导磁性能。同时,永磁体 7 顶端与外壳 8 顶端内侧相固定,并通过外壳 8 对其实现约束。此外,所述电流输入端口 9 和电压输出端口 14 均分别固定在外壳外侧顶端的两端,如图 1 所示。

[0057] 值得一提的是,本设备示意图中的内层线圈 3 和外层线圈 5 的导线粗细和疏密程度仅为示意,真实的线圈导线是紧密排列的,导线的直径由其所激励和接受超声导波信号的频率和波长决定,另外每段交替正负极线圈的宽度为超声导波波长的一半,即图 4 中的①段和②段、图 6 中的④段和⑤段均为超声导波波长的一半。导线可以是漆包线等硬质线圈,也可以是印刷电路板的排线等软质电路线。

[0058] 一种基于上述装置的基于磁致伸缩和纵向超声导波的铁轨损伤检测方法,首先外部信号发生器产生检测用信号,经放大后通过导线将信号从信号放大器的信号输出端口输入到该设备的电流输入端口,内层线圈根据输入信号的变化产生一个动态磁场,同时与永磁体产生的磁场发生耦合,激发出沿铁轨纵向传播的超声导波,一旦超声导波遇到铁轨缺陷,会传回一个缺陷反射信号,该缺陷反射信号被转化成该频率的交变磁场,该交变磁场在外层线圈中激发出感应电动势。

[0059] 具体包括以下步骤:

[0060] (1) 根据铁轨型号和截面尺寸通过 GUIGUW 软件计算得到铁轨的频散曲线,根据频散曲线选择适合该类型铁轨超声导波损伤检测的导波中心频率;

[0061] (2) 通过波形发生器产生一个检测所需的电信号,该电信号波形与检测导波波形和中心频率一致;将此电信号导入功率放大器,将电信号进行放大;

[0062] (3) 如图 9 所示,将放大后的电信号经电流输入端口进入内层线圈,内层线圈中各段交替正负极线圈在电信号作用下在铁轨内产生相应频率的动态磁场,该磁场与永磁体产生的静态偏置磁场发生耦合,使得被检测物体的磁化状态发生该频率下的变化,使得被检测物体纵向尺寸上发生变化,即磁致伸缩应变,从而激发超声导波,超声导波沿铁轨纵向传播。此时,外层线圈通过磁致伸缩的逆效应产生一个与所激励的超声导波相对应的一个感应电动势。该感应电动势通过电压输出端口输出。电压输出端口与外部信号处理设备,如示波器的信号输入端口通过导线连接,通过外部信号处理设备记录初始感应电动势的大小和产生时间,如图 11 中信号 24;

[0063] (4) 本实施例中铁轨上预先设置了缺陷,如图 10 所示,一旦沿铁轨纵向传播的超声导波遇到铁轨缺陷,会传回一个缺陷反射信号,利用磁致伸缩的逆效应,外层线圈内会产生一个与之频率相同的交变磁场,该交变磁场在外层线圈中激发出另一个与缺陷反射导波相对应的反馈感应电动势。该反馈感应电动势通过电压输出端口输出。电压输出端口与外部信号处理设备,如示波器的信号输入端口通过导线连接,通过外部信号处理设备记录反

馈感应电动势的大小和产生时间,如图 11 中的信号 25,26,27;

[0064] (5) 由于感应电动势与超声导波信号强度之间存在如下函数关系:

$$[0065] \quad V_R(k,t) = -\frac{2\pi k w \mu_r^2 \lambda^2 n s H_0}{E} \left| \int_0^l f(\xi) e^{jk\xi} d\xi \right|^2 e^{-jk(d-vt)};$$

[0066] 其中  $k$  为超声导波波数,  $n$  为接收线圈的匝数,  $s$  为接收线圈的横截面积,  $l$  为接收线圈的长度,  $d$  为接收线圈与激励线圈间的轴向距离,  $v$  为铁磁材料中超声导波波速,  $\mu_r$  为铁磁材料相对磁导率,  $\lambda$  为铁磁材料磁致伸缩常数,  $H_0$  是线圈匝数和电流的函数。

[0067] 通过该公式可以确定感应电动势的大小与超声导波的强度之间的定量关系;通过初始感应电动势与反馈感应电动势的强度换算并测量缺陷反射导波信号的强度,从而可确定损伤的大小程度。同时,根据应力波原理可以确定超声导波信号强度与铁轨缺陷大小之间的定量关系;且感应电动势产生的时间与激励导波的时间存在时间差,这个时间差即为导波在铁轨中传播且遇到缺陷反射后传回激发位置的时间。因此,可以通过仪器测量该感应电动势来间接测量缺陷反射导波信号产生的时间和强度,从而确定损伤的位置和损伤的大小。

[0068] 本实施例中,所述步骤(1)中,产生的检测用信号是中心频率为 375KHz 汉宁窗调制的 10 周期正弦电信号。步骤(4)中所采用测试用的铁轨长度为 2 米。采用本装置和方法测试后的各缺陷位置为:轨底支座部位的缺陷 1 距离导波发射端为 1.65 米。轨底支座部位的缺陷 2 距离导波发射端为 1.1 米。轨底支座部位的缺陷 3 距离导波发射端为 0.55 米。通过对比检测结果图 11 与实际预制缺陷的位置,充分证明该方法可以实现精确定位缺陷,误差仅为毫米级。同时,从监测结果图 11 中可以看出,2 米长的铁轨整个检测过程仅用时 0.1 毫秒,可见此检测方法的高效和高精确度。

[0069] 上述实施例为本实用新型较佳的实施方式,但本实用新型的实施方式并不受上述实施例的限制,其他的任何未背离本实用新型的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本实用新型的保护范围之内。

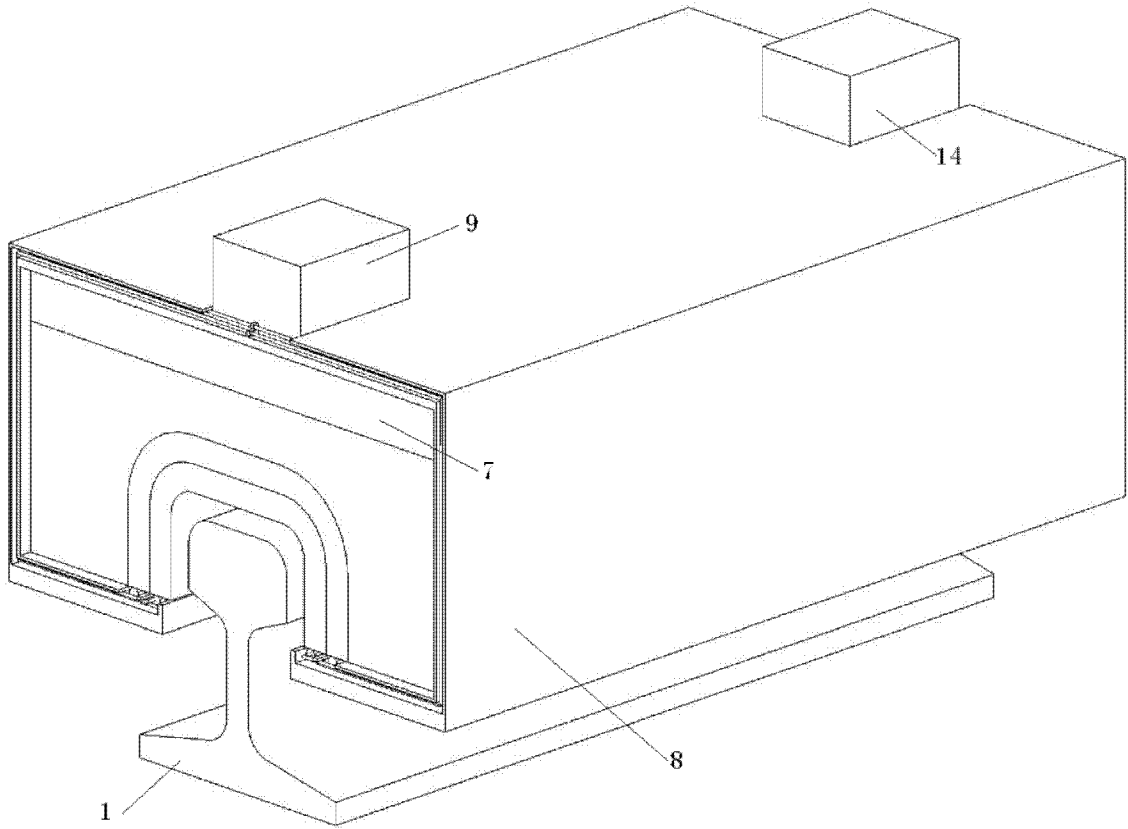


图 1

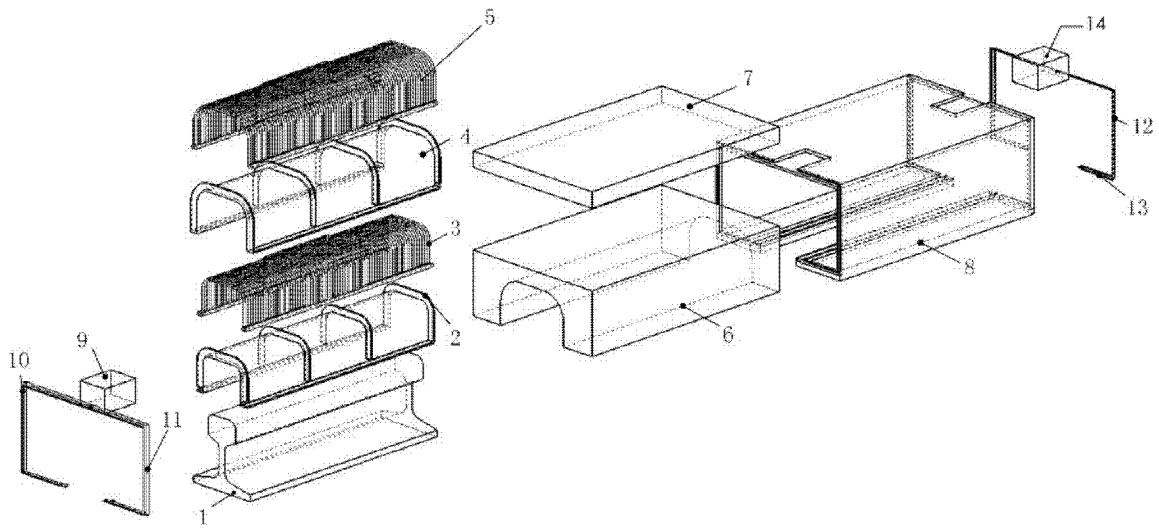


图 2

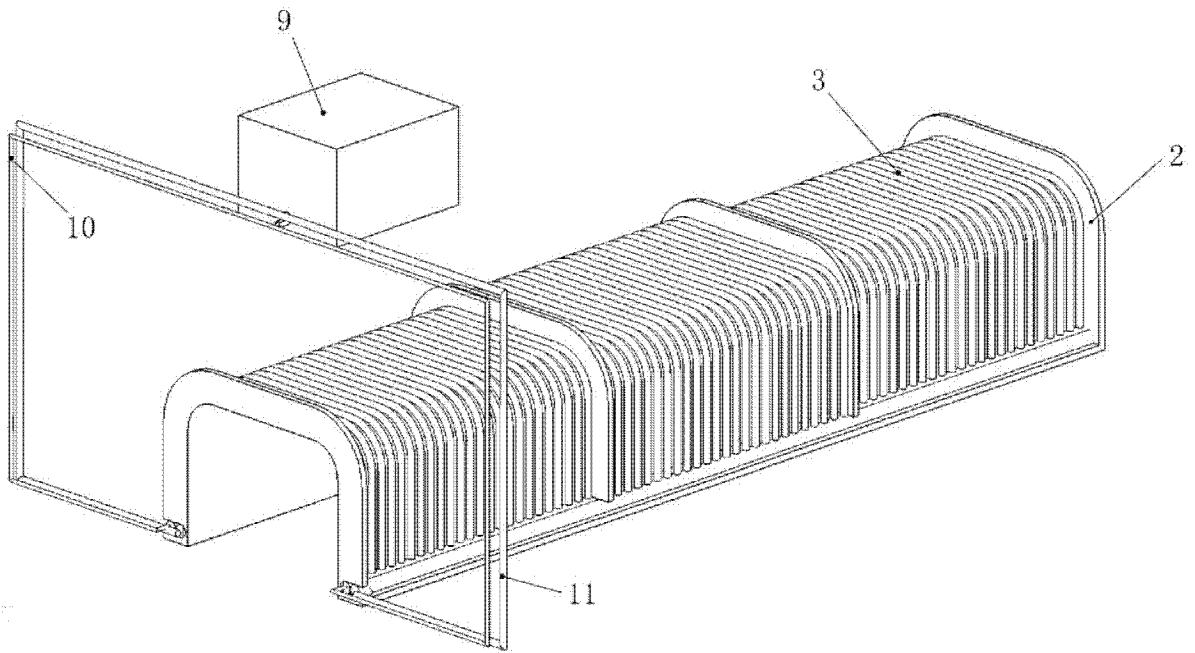


图 3

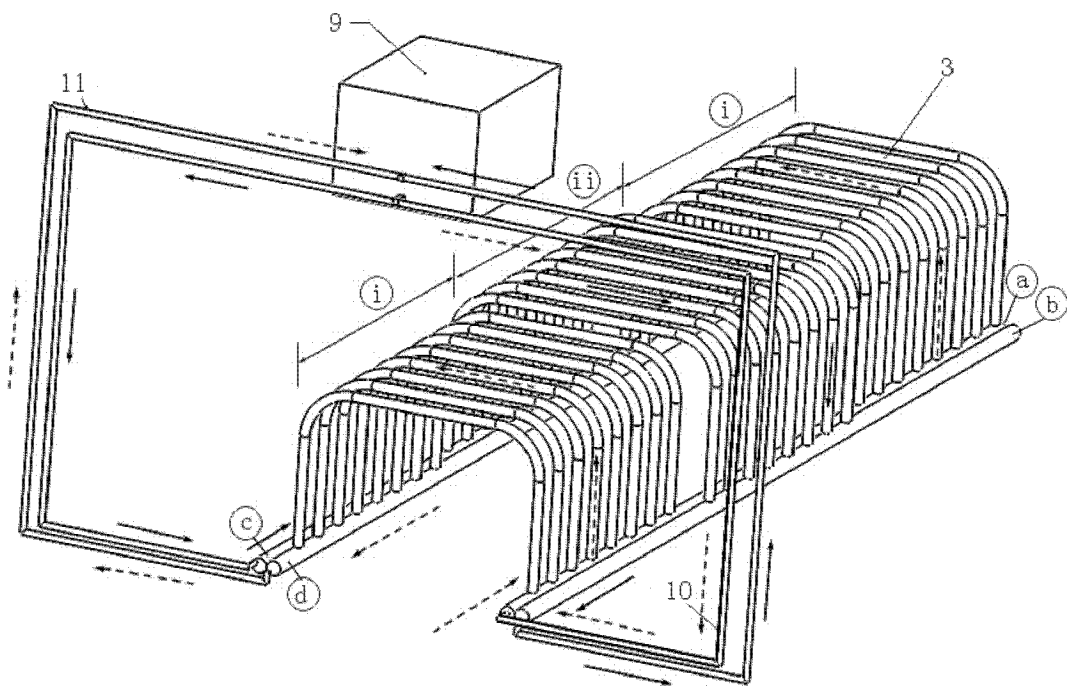


图 4

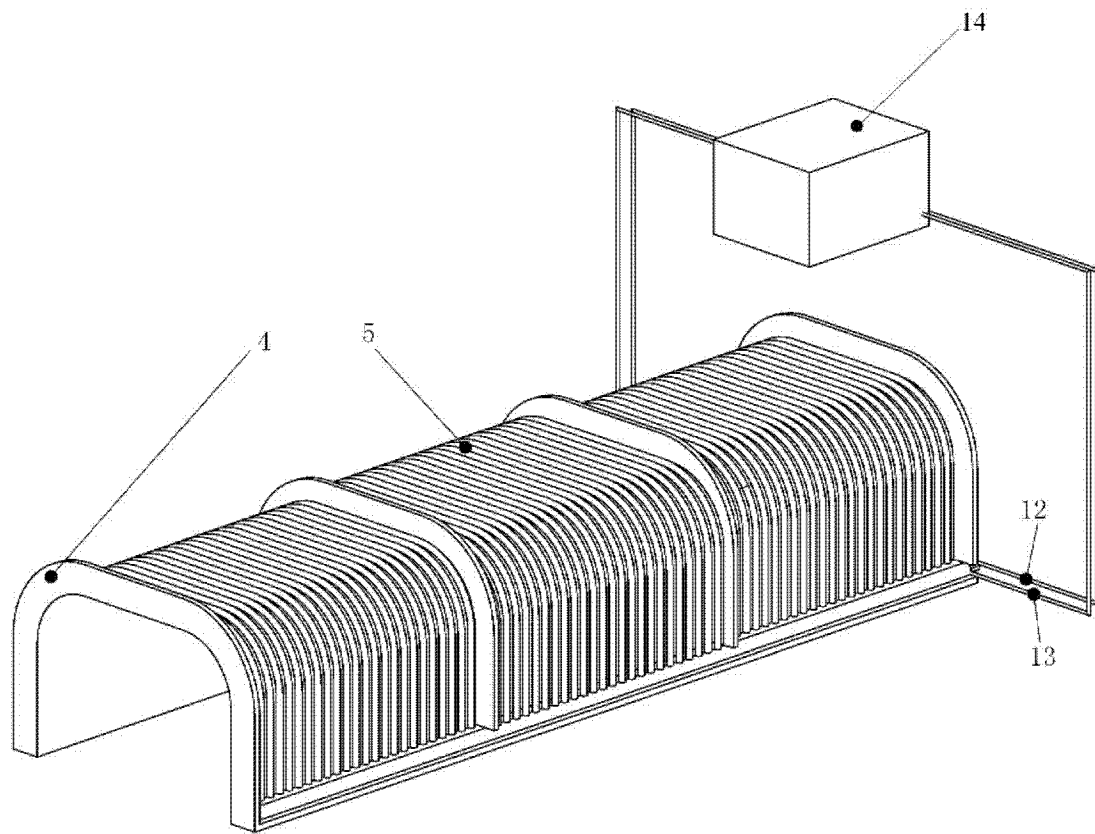


图 5

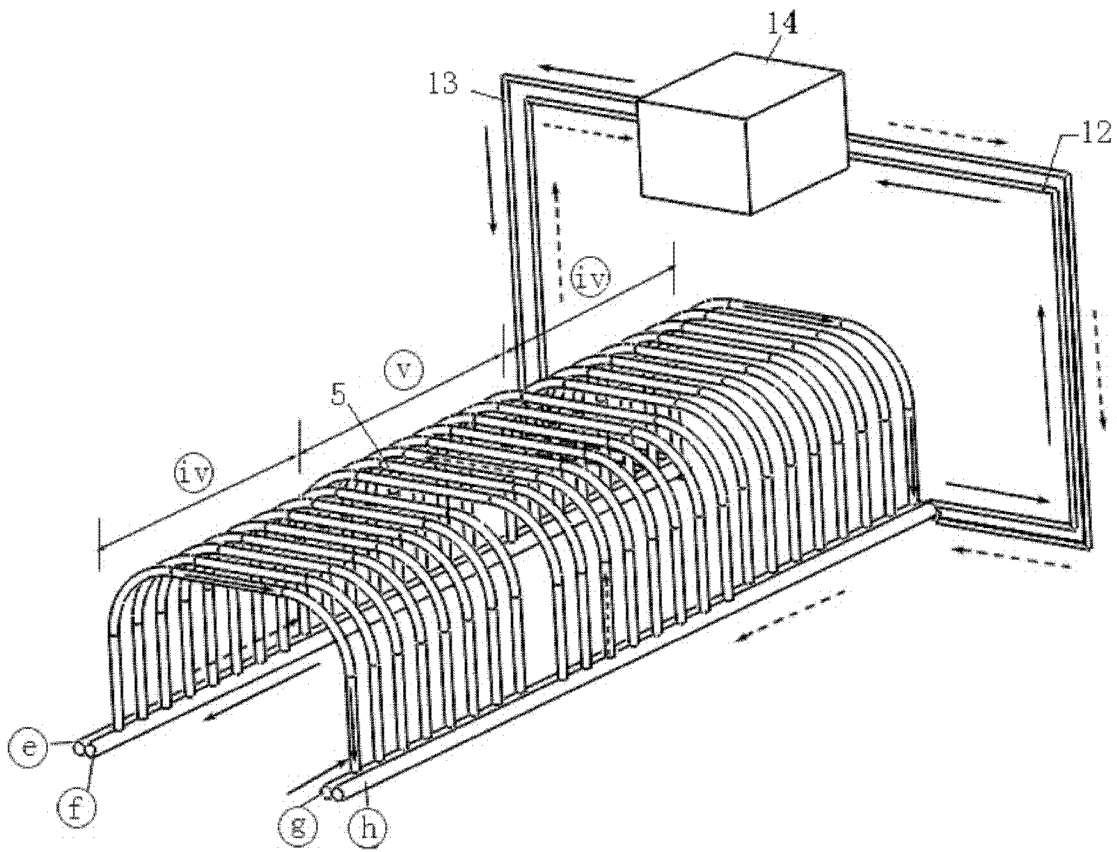


图 6

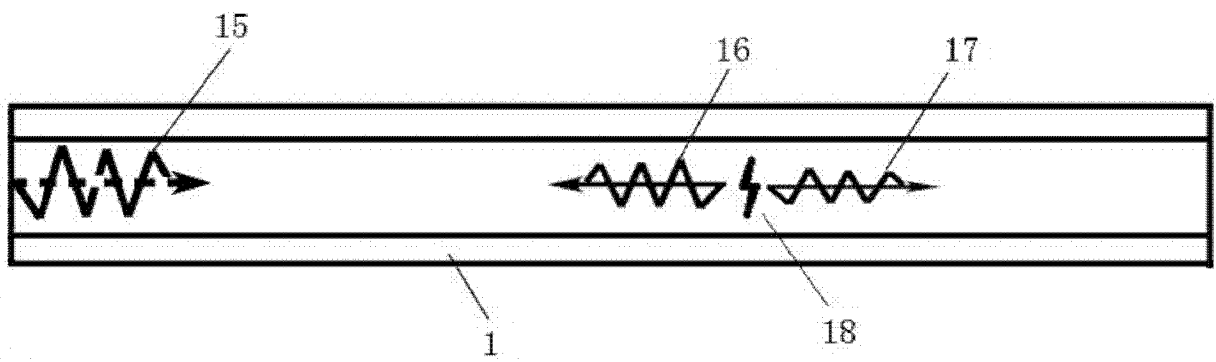


图 7

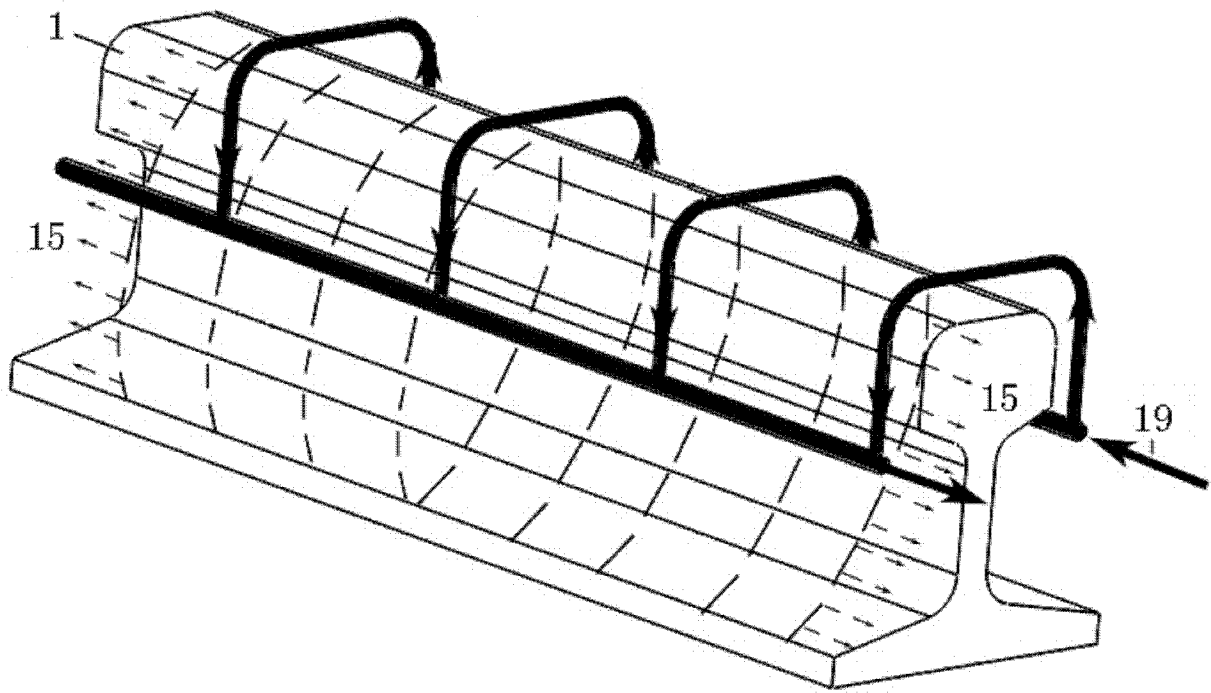


图 8

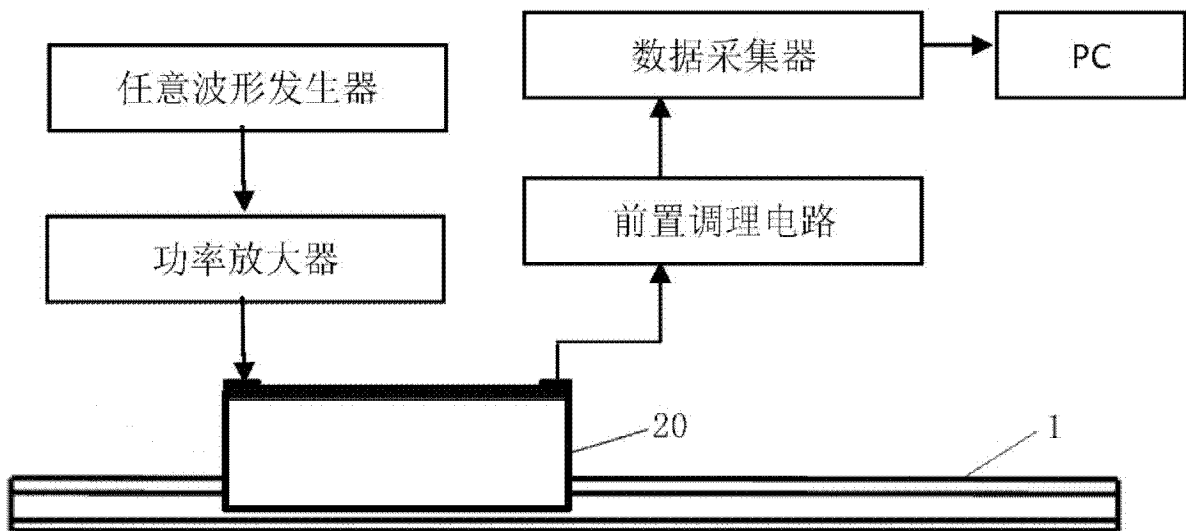


图 9

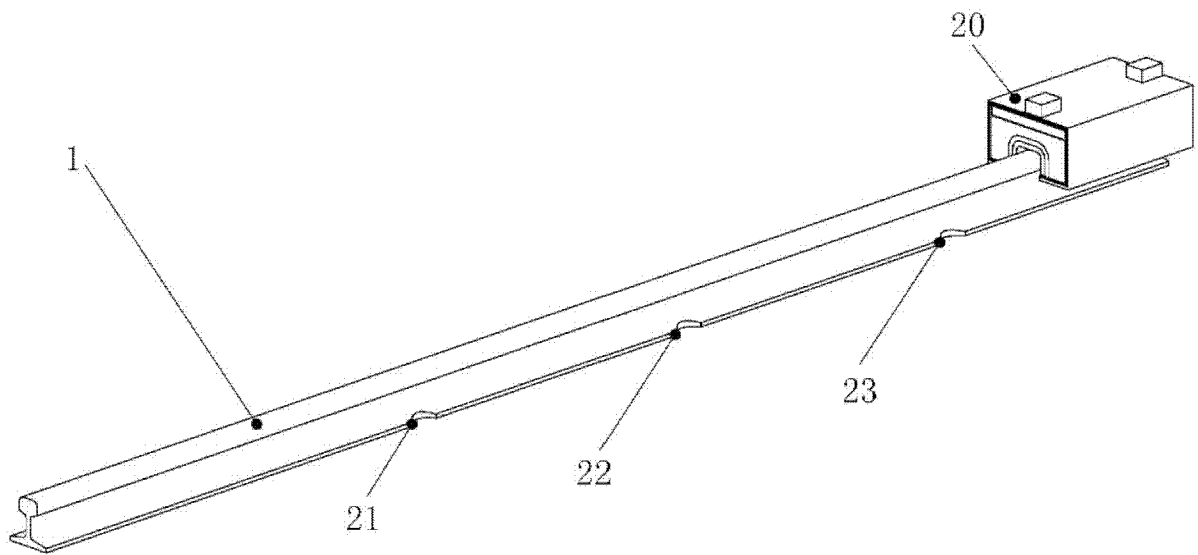


图 10

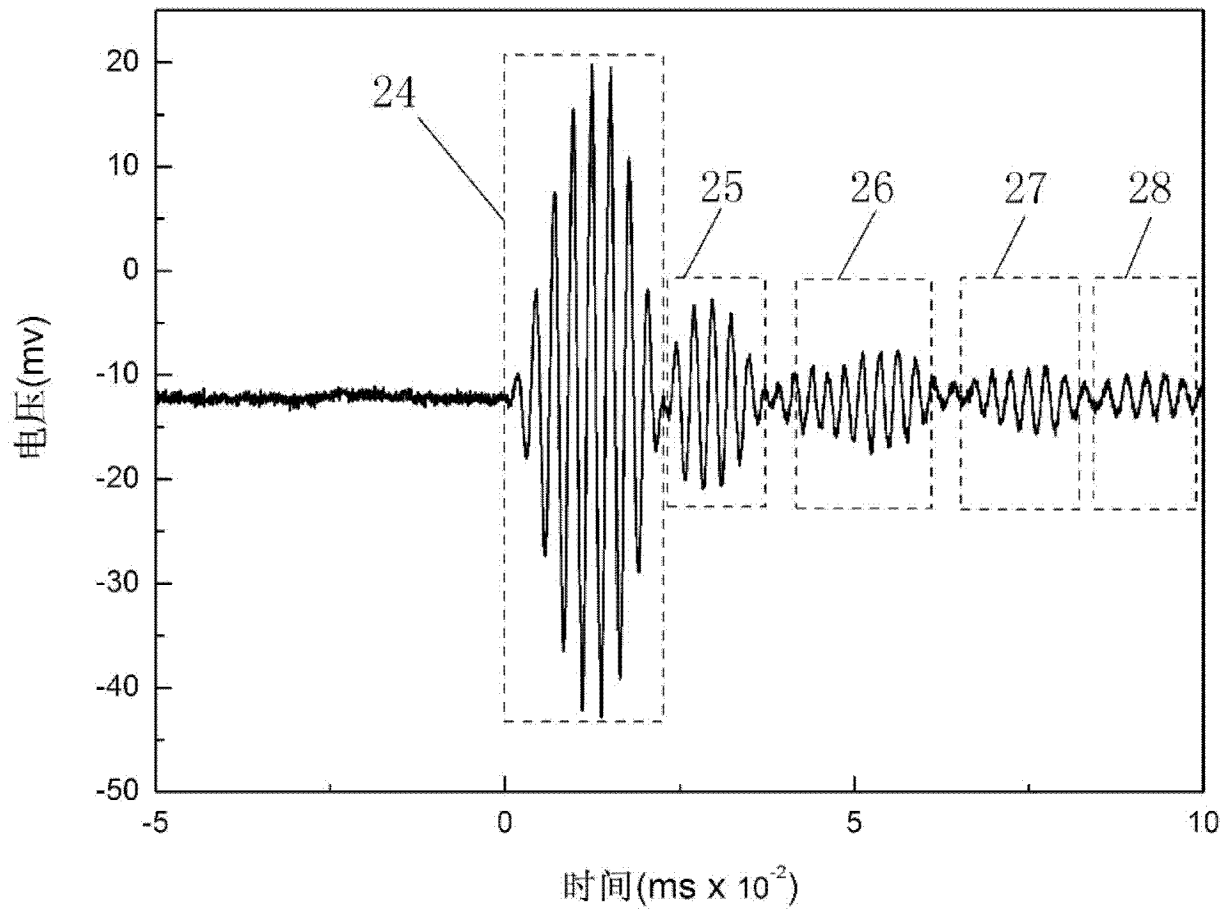


图 11