



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102874278 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 14

(21) 申请号 201210399553. X

CN 101668672 A, 2010. 03. 10, 全文.

(22) 申请日 2012. 10. 19

CN 102548828 A, 2012. 07. 04, 全文.

(73) 专利权人 西南交通大学

WO 01/89903 A1, 2001. 11. 29, 全文.

地址 610000 四川省成都市二环路北一段

段晨东等. 基于时频切片分析的故障诊断方法及应用. 《振动与冲击》. 2011, 第 30 卷 (第 9 期), 第 1-5, 45 页.

(72) 发明人 丁建明 林建辉 伍川辉 张兵

苏燕辰 陈春俊 刘璐 易彩

审查员 黄根

(74) 专利代理机构 成都顶峰专利事务所 (普通合伙) 51224

代理人 成实

(51) Int. Cl.

B61K 9/12 (2006. 01)

G01N 29/04 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1446160 A, 2003. 10. 01,

JP 2000-136988 A, 2000. 05. 16,

US 4696446 A, 1987. 09. 29, 全文.

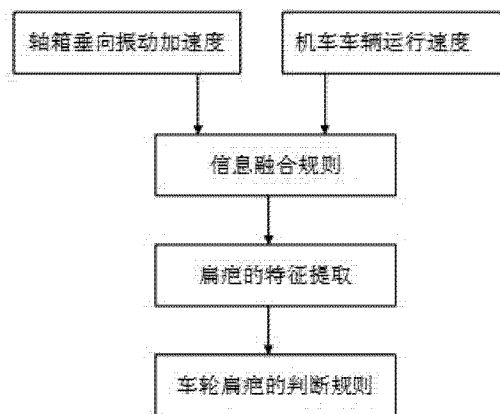
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法,主要解决了现有技术中存在的车轮扁疤检测方法适用范围有限、不便于使用和维护、成本较高的问题。该方法包括以下步骤:检测车辆运行时的速度 v 和车辆轴箱的垂向振动加速度 a;根据融合规则将速度 v 和轴箱的垂向振动加速度 a 进行信息融合,并对融合后的数据进行特征提取,得出车辆轴箱的振动特性,进而分析出存在车轮扁疤时车辆轴箱的振动特性;对得出的各振动特性进行理解、对比,建立车轮扁疤的判断规则,进而对车轮扁疤进行动态检测。通过上述方案,本发明达到了适用范围较广、便于实施及维护、成本低廉的目的,具有很高的实用价值和推广价值。



1. 一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法,其特征在于,包括以下步骤:

(a) 检测车辆运行时的速度 v 和车辆轴箱的垂向振动加速度 a ;

(b) 根据融合规则将速度 v 和轴箱的垂向振动加速度 a 进行信息融合,并对融合后的数据进行特征提取,得出车辆轴箱的振动特性,进而分析出存在车轮扁疤时车辆轴箱的振动特性;

(c) 根据得出的各振动特性建立车轮扁疤的判断规则,进而对车轮扁疤进行动态检测;

其中,车轮上安装有振动传感器,所述步骤(b)中,车辆轴箱的振动特性由该振动传感器提供,且所述加速度传感器、光电编码器、振动传感器均通过采集器与中心处理器相连;

所述步骤(b)中,融合规则包括以下步骤:

(b1) 对从 k_0 时刻到 k_e 时刻的速度 v 进行求和,从而得出 $S(k) = \sum_{k=k_0}^k V(k)$, 设定车轮的滚动圆半径为 R , 令当 $k = k_e$ 时 $S(k_e) = 2\pi R$, 并记录求和时标 k_e ;

(b2) 中心处理器判断得出的速度信号与加速度的采样频率是否一致,如不一致则根据 $S = [S(k_0), \dots, S(k_e)]$ 对速度信号进行三次样条插值,并按照加速度的采样频率对位移信号重新抽值,直至二者采样频率保持一致;

(b3) 采用时间对标法对振动加速度进行截取,即 $a = [a_x(k_0), \dots, a_x(k_e)]$, 进而得出同步采样下车轮旋转一周的位移信号对应的轴向垂向振动加速度信号。

2. 根据权利要求 1 所述的一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法,其特征在于,车轮的轴箱上安装有加速度传感器,所述步骤(a)中,轴箱的垂向振动加速度 a 通过该加速度传感器测量得出。

3. 根据权利要求 2 所述的一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法,其特征在于,车轮的轴箱上安装有光电编码器,所述步骤(a)中,速度 v 通过该光电编码器测量得出。

4. 根据权利要求 3 所述的一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法,其特征在于,所述步骤(a)中,速度 v 为车辆运控系统提供的速度信号。

5. 根据权利要求 4 所述的一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法,其特征在于,所述步骤(b)中,特征提取包括以下步骤:

(b4) 将振动加速度信号进行傅里叶变换 $A(f) = [A(f_0), \dots, A(f_e)]$;

(b5) 以具有时间频率同等分辨率的高斯函数为基函数构造频率选择函数:

$$P(f, f_c) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{f - f_c}{f_c} k_e \right)^2}, f \in [1, k_e - k_0 + 1], f_c \in [1, k_e - k_0 + 1];$$

(b6) 将振动加速度的傅里叶变换 $A(k)$ 与频率选择函数 $P(k)$ 相乘得出频率选择后的函数,即 $X(k, f_c) = P(k, f_c) * A(k), k \in [k_0, k_e], f_c \in [1, k_e - k_0 + 1]$;

(b7) 对频率选择后的函数进行反傅里叶变换得到振动加速度的时频能量分布函数:
 $TF(k, f_c) = IFFT(X(k, f_c))$ 。

6. 根据权利要求 5 所述的一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载

检测方法,其特征在于,所述步骤(c)中,车轮扁疤的判断规则包括以下步骤:

(c1) 以时间基准将时频能量分布函数的时间坐标转换为位移坐标,应用频率切片小波变换对融合后的振动加速度进行分析,并绘制时频能量分布函数的等高线图或时间、频率、能量的三位图形;

(c2) 找出时频能量峰值对应的位移坐标位置;

(c3) 对时间基准上相邻的车轮旋转周对应的加速度信号进行分析,并制作出旋转一周的振动对应的等高线图形,若能量峰值对应的位移坐标一致则说明车轮存在扁疤,若能量峰值对应的位移坐标不一致则说明车轮不存在扁疤。

一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种检测方法,具体地说,是涉及一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着我国经济快速发展,为了提升城市形象、加快城市进程、优化城市交通结构,全国大、中城市均在大力修建地铁,作为使用和生产地铁车辆约占世界总量五分之一的地铁大国,我们同时也将大量地铁车辆出口至伊朗、泰国、香港、沙特、印度等国,因而确保地铁车辆在运行过程中的安全性是非常重要的。

[0003] 由于机车车辆在运行过程中存在摩擦力,因而容易导致车轮踏面出现擦伤、剥离、裂损和掉块从而会形成车轮扁疤。根据已有的理论计算和试验测试得出,存在扁疤的车轮对轮轨的冲击力为轮轨静载的数倍,因而如不对存在扁疤的车轮进行处理则会导致车辆和线路的使用寿命大大降低,从而导致能耗的增加和维护成本的提高,如若及时发现并予以处理甚至会导致重大安全事故的发生。为此,对车轮扁疤进行动态监测是必须的。

[0004] 现有车轮扁疤检测方法常有以下几种:

[0005] 噪声检测法:利用车辆在运行过程中发出的撞击声响特征来判断车轮扁疤的存在与否。但是,由于其受相邻车轮间相互作用的影响,该检测技术只能定位扁疤所在的轮对,准确度不高,因而至今没有得到实际应用。

[0006] 图像检测法:通过在轨道上安装摄像机来摄取车轮踏面的图像信息实现扁疤的检测,该检测系统主要包括测量装置、控制装置、照明装置、摄像装置、计算机及外围设备。但是,由于使用该方法的检测系统较为复杂,图像数据量大,高频拍摄难于实时处理,而车辆快速通过时轮轨的冲击作用是十分短暂的,因而该检测方法的使用范围十分有限。

[0007] 电信号检测法:通过将两条钢轨中的任意一条采用2条长度为1.5的绝缘钢轨,利用车轮存在扁疤时通过该钢轨时会存在一定的腾空时间来检测扁疤的存在与否,当车轮没有扁疤时,车轮与钢轨一直保持接触,左右钢轨短路,输出电压为零,当带有扁疤的车轮通过时,车轮腾空,左右钢轨短路开路存在电压差,应用电压差来检测车轮扁疤。但是,由于在车轮存在扁疤的条件下,车轮不一定腾空,同时绝缘钢轨的寿命和性能无法达到无缝线路的要求,会给路段带来新的隐患,同时对线路的维护极为不方便,为此不适合在我国大规模推广和应用。

[0008] 轨道检测法:轨道检测法包括轨道振动加速度检测法、轨道剪应力检测法、枕上压力式检测法、多点式轨腰压缩法等。其中,振动加速度检测法主要采用磁钢控制信号的获取时间,采用轨道振动信号来分析车轮扁疤,但这种检测方法得到的测试精度会受到冲击点位置和加速度传感器安装位置的影响,同时,检测精度会因受到邻轮的影响而降低,且成本很高,系统复杂。枕上压力式检测法的主要缺点和电信号检测法一样,需要改变轨道结构,这对线路维护和检测设备维护带来不方便。多点式轨腰压缩法是目前公认的综合性能最好

的检测方法,但是该方法需要针对不同的直径的车轮进行贴片,通用性不高,同时不能动态反映在特定轮轨关系的车轮冲击特征。

[0009] 综上所述,发明创造一种使用方便、成本低廉、且对线路无不良影响的高精准性车轮扁疤动态车载检测方法为人们所需。

发明内容

[0010] 本发明的目的在于提供一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法,主要解决现有技术中存在的车轮扁疤检测方法适用范围有限、不便于使用和维护、成本较高的问题。

[0011] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0012] 一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法,包括以下步骤:

[0013] (a) 检测车辆运行时的速度 v 和车辆轴箱的垂向振动加速度 a ;

[0014] (b) 根据融合规则将速度 v 和轴箱的垂向振动加速度 a 进行信息融合,并对融合后的数据进行特征提取,得出车辆轴箱的振动特性,进而分析出存在车轮扁疤时车辆轴箱的振动特性;

[0015] (c) 根据得出的各振动特性建立车轮扁疤的判断规则,进而对车轮扁疤进行动态检测。

[0016] 作为优选,车轮的轴箱上安装有加速度传感器,所述步骤(a)中,轴箱的垂向振动加速度 a 通过该加速度传感器测量得出;车轮的轴箱上安装有光电编码器,所述步骤(a)中,速度 v 通过该光电编码器测量得出;所述步骤(a)中,速度 v 为车辆运控系统提供的速度信号。

[0017] 具体地说,车轮上安装有振动传感器,所述步骤(b)中,车辆轴箱的振动特性由该振动传感器提供,且所述加速度传感器、光电编码器、振动传感器均通过采集器与中心处理器相连。

[0018] 进一步地,所述步骤(b)中,融合规则包括以下步骤:

[0019] (b1) 对从 k_0 时刻到 k_e 时刻的速度 v 进行求和,从而得出: $S(k) = \sum_{k=k_0}^k V(k)$, 设

定车轮的滚动圆半径为 R , 令当 $k = k_e$ 时 $S(k_e) = 2\pi R$, 并记录求和时标 k_e ;

[0020] (b2) 中心处理器判断得出的速度信号与加速度的采样频率是否一致,如不一致则根据 $S = [S(k_0), \dots, S(k_e)]$ 对速度信号进行三次样条插值,并按照加速度的采样频率对位移信号重新抽值,直至二者采样频率保持一致;

[0021] (b3) 采用时间对标法对振动加速度进行截取,即: $a = [a_x(k_0), \dots, a_x(k_e)]$, 进而得出同步采样下车轮旋转一周的位移信号对应的轴向垂向振动加速度信号。

[0022] 更进一步地,所述步骤(b)中,应用频率切片小波变换对融合后的振动加速度进行分析,得出振动信号的时频等高线图,其中,特征提取包括以下步骤:

[0023] (b4) 将振动加速度信号进行傅里叶变换: $A(f) = [A(f_0), \dots, A(f_e)]$;

[0024] (b5) 以具有时间频率同等分辨率的高斯函数为基函数构造频率选择函数：

$$P(f, f_c) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{f - f_c}{f_c} k_d \right)^2}, f \in [1, k_e - k_0 + 1], f_c \in [1, k_e - k_0 + 1];$$

[0025] (b6) 将振动加速度的傅里叶变换 $A(k)$ 与频率选择函数 $P(k)$ 相乘得出频率选择后的函数, 即： $X(k, f_c) = P(k, f_c) * A(k), k \in [k_0, k_e], f_c \in [1, k_e - k_0 + 1]$ ；

[0026] (b7) 对频率选择后的函数进行反傅里叶变换得到振动加速度的时频能量分布函数： $TF(k, f_c) = IFFT(X(k, f_c))$ 。

[0027] 在本发明中, 所述步骤(c)中, 车轮扁疤的判断规则包括以下步骤：

[0028] (c1) 以时间基准将时频能量分布函数的时间坐标转换为位移坐标, 应用频率切片小波变换对融合后的振动加速度进行分析, 并绘制时频能量分布函数的等高线图或时间、频率、能量的三位图形；

[0029] (c2) 找出时频能量峰值对应的位移坐标位置；

[0030] (c3) 对时间基准上相邻的车轮旋转周对应的加速度信号进行分析, 并制作出旋转一周的振动对应的等高线图形, 若能量峰值对应的位移坐标一致则说明车轮存在扁疤, 若能量峰值对应的位移坐标不一致则说明车轮不存在扁疤。

[0031] 与现有技术相比, 本发明具有以下有益效果：

[0032] (1) 本发明方法简单、实施方便、符合实际需求, 适合大规模推广应用。

[0033] (2) 本发明在不需修改线路的情况下能够检测带有扁疤的车轮在不同线路条件下的冲击特性, 检测技术较为成熟、可靠性高、成本低廉, 符合人们需求。

[0034] (3) 本发明通过车速信息和轴箱垂向振动加速度信息相结合, 采用振动加速度对车轮扁疤进行监测, 这样的检测方法所需通道数量少、系统简单、抗干扰性强, 能够克服相邻车轮振动带来的影响, 能够实现车轮扁疤的车载高精度检测, 具有突出的实质性特点和显著的进步, 适合大规模推广应用。

[0035] (4) 本发明通过对车轮扁疤进行有效监测, 有利于人们对其进行及时处理, 从而有效保证了车辆运行中的安全, 进而保证了人们的生命财产安全, 具有很高的社会价值和经济效益。

附图说明

[0036] 图 1 为本发明的流程示意图。

[0037] 图 2 为本发明的轴向垂向振动加速度示意图。

[0038] 图 3 为本发明中轴向振动加速度的等高线图。

具体实施方式

[0039] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明, 本发明的实施方式包括但不限于下列实施例。

实施例

[0040] 如图 1 所示,本发明提供了一种融合车速信息和轴箱垂向加速度信息的车轮扁疤车载检测方法,我们通过检测车辆运行时的速度 v 和车辆轴箱的垂向振动加速度 a ,根据融合规则将二者进行信息融合,并对融合后的数据进行特征提取,得出车辆轴箱的振动特性,之后分析出存在车轮扁疤时车辆轴箱的振动特性,进而对得出的各振动特性进行理解、对比,建立车轮扁疤的判断规则,便可实现对车轮扁疤进行动态检测。

[0041] 在本发明中,我们通过在车轮的轴箱上安装加速度传感器实现对轴箱的垂向振动加速度 a 的测量;通过在车轮的轴箱上安装光电编码器实现对速度 v 的测量,同时,我们也可以直接使用车辆运控系统提供的速度信号作为速度 v 。

[0042] 为了实现对车轮的振动检测,我们在车轮上安装有振动传感器,通过该振动传感器得出车辆轴箱的振动特性,同时我们还设置了对所得出的数据进行分析处理的中心处理器,且所述加速度传感器、光电编码器、振动传感器均通过采集器与中心处理器相连。

[0043] 其中,振动加速度传感器的指示方向向下;选用量程为 $\pm 50\text{kg}$,频率响应不小于 2000HZ 的振动传感器;选用采样频率不低于 10KHz 的采集器。

[0044] 在本发明中,融合规则包括以下步骤:对从 k_0 时刻到 k_e 时刻的速度 v 进行测

量并求和,从而得出: $S(k) = \sum_{k=k_0}^k V(k)$, 设定车轮的滚动圆半径为 R , 令当 $k = k_e$ 时

$S(k_e) = 2\pi R$, 并记录求和时标 k_e ; 中心处理器判断得出的速度信号与加速度的采样频率是否一致,如不一致则根据 $S = [S(k_0), \dots, S(k_e)]$ 对速度信号进行三次样条插值,并按照加速度的采样频率对位移信号重新抽值,直至二者采样频率保持一致;采用时间对标法对振动加速度进行截取,即: $a = [a_x(k_0), \dots, a_x(k_e)]$, 进而得出同步采样下车轮旋转一周的位移信号对应的轴向垂向振动加速度信号。

[0045] 应用频率切片小波变换对融合后的振动加速度进行分析,得出振动信号的时频等高线图,其中,特征提取包括以下步骤:将振动加速度信号进行傅里叶变换: $A(f) = [A(f_0), \dots, A(f_e)]$; 以具有时间频率同等分辨率的高斯函数为基函数构造频率

选择函数: $P(f, f_c) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{f - f_c}{f_c} k_d \right)^2}$, $f \in [1, k_e - k_0 + 1]$, $f_c \in [1, k_e - k_0 + 1]$

;将振动加速度的傅里叶变换 $A(k)$ 与频率选择函数 $P(k)$ 相乘得出频率选择后的函数, 即: $X(k, f_c) = P(k, f_c) * A(k)$, $k \in [k_0, k_e]$, $f_c \in [1, k_e - k_0 + 1]$;

对频率选择后的函数进行反傅里叶变换得到振动加速度的时频分能量分布函数: $TF(k, f_c) = IFFT(X(k, f_c))$ 。

[0046] 在本发明中,车轮扁疤的判断规则包括以下步骤:以时间基准将时频能量分布函数的时间坐标转换为位移坐标,并绘制时频能量分布函数的等高线图或时间、频率、能量的三位图形;找出时频能量峰值对应的位移坐标位置;对时间基准上相邻的车轮旋转周对应的加速度信号进行分析,并制作出旋转一周的振动对应的等高线图形,若能量峰值对应的

位移坐标一致则说明车轮存在扁疤,若能量峰值对应的位移坐标不一致则说明车轮不存在扁疤。

[0047] 如图 2 所示,此为我们采集信号速度为 90km/h 的一组含有车轮扁疤的轴向垂向振动加速度信号,如图 3 所示,此为我们应用本发明中提出的方法得出的轴箱振动加速度的等高线图。由此可以十分明显地看出,能量最大位置对应的位移坐标点 A、B、C、D 在一条直线上,即他们对应车轮的同一位置,同时信号的能量分布频率范围基本相同,因此,依据上述跳出的车轮扁疤判断标准可以得出车轮存在扁疤,和实际情况吻合,能够充分证明本发明中提出的车轮扁疤检测方法准确有效,符合实际情况,适合大规模推广应用。

[0048] 按照上述实施例,便可很好地实现本发明。

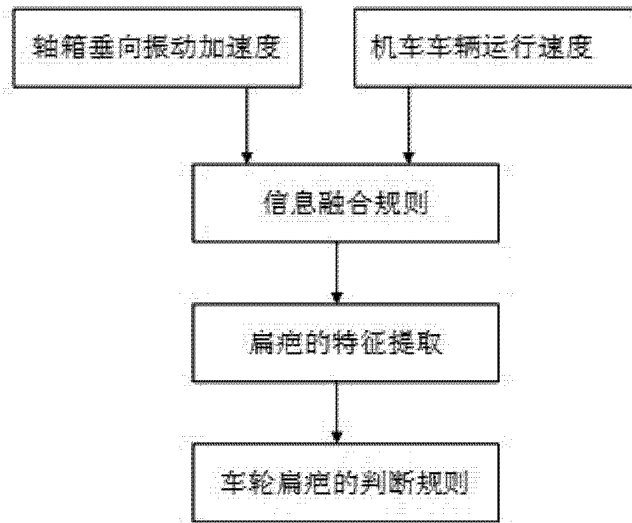


图 1

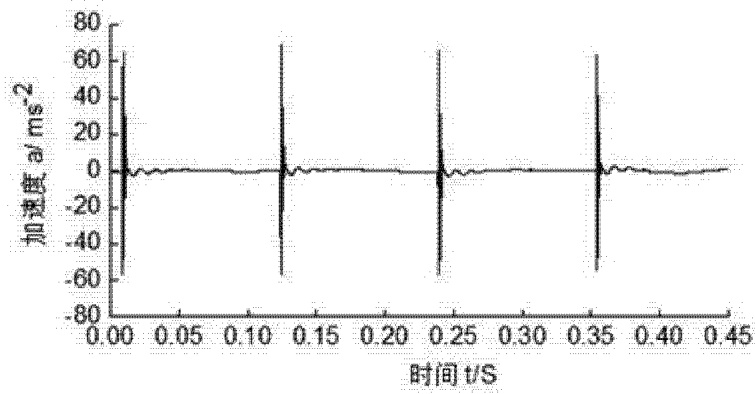


图 2

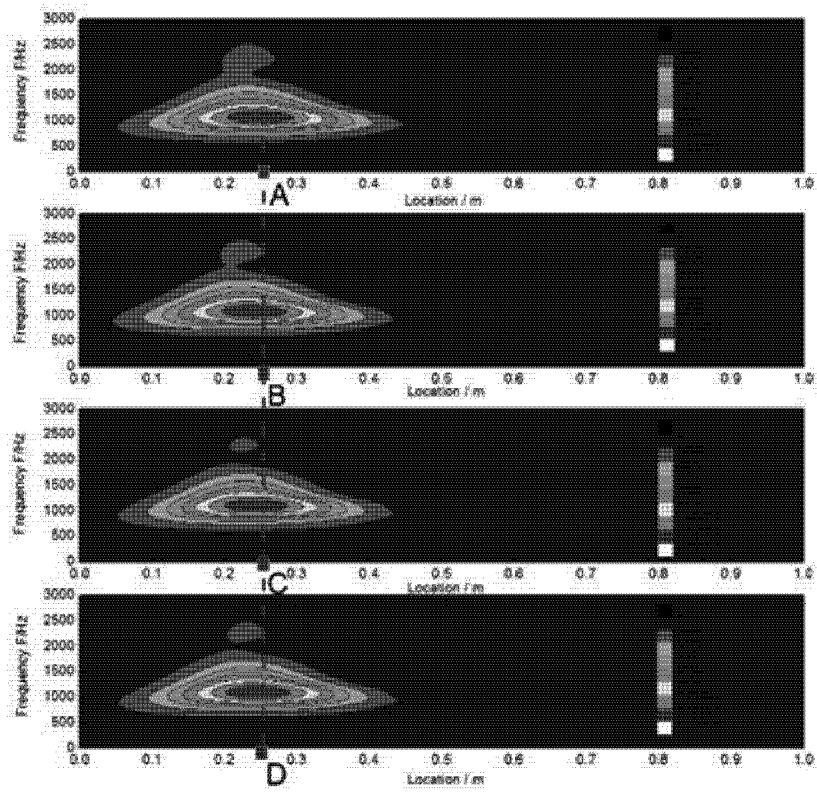


图 3