



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110346453 B

(45) 授权公告日 2021.10.26

(21) 申请号 201910683975.1

(22) 申请日 2019.07.26

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110346453 A

(43) 申请公布日 2019.10.18

(73) 专利权人 招商局重庆公路工程检测中心有限公司  
地址 400060 重庆市南岸区学府大道33号(十六)幢

(72) 发明人 张朋 徐莹 刘大洋 杜雁鹏  
王宝松 詹金桥 董天雄 刘晓东 斯新华

(74) 专利代理机构 北京同恒源知识产权代理有限公司 11275  
代理人 赵荣之

(51) Int. Cl.  
G01N 29/06 (2006.01)  
G01N 29/46 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 108593769 A, 2018.09.28

CN 109187740 A, 2019.01.11

CN 106124623 A, 2016.11.16

US 6192751 B1, 2001.02.27

US 2014339957 A1, 2014.11.20

KR 101635950 B1, 2016.07.04

CN 103245968 A, 2013.08.14

CN 108398487 A, 2018.08.14

CN 103018337 A, 2013.04.03

CN 102027386 A, 2011.04.20

CN 103278558 A, 2013.09.04

US 2011286304 A1, 2011.11.24

B. Ya. Kotyuzhanskii et al. Relaxation of magnetoelastic waves in antiferromagnetic FeB0s.《Sov. Phys. JETP》.1983,第918-921页.

徐宏武等.“基于冲击回波等效厚度法的预应力管道压浆密实度无损检测技术研究”.《公路交通技术》.2017,第33卷(第4期),第43-47页.

耿嘉楠.“小排列弹性波超前探测与行波分离”.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技II辑》.2014,页码C034-587.

审查员 杨培

权利要求书1页 说明书4页 附图6页

(54) 发明名称  
一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法

(57) 摘要  
本发明涉及一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法,属于工程检测技术领域。本发明将一个弹性波激振器与多个拾波传感器按几何排列组合成“小排列”检测装置,通过激振器通过瞬态冲击结构表面产生弹性波,拾波传感器接受沿介质传播弹性波,每次激励形成同源多道弹性波数据,“小排列”检测装置同步移动,获取多源多道弹性波数据体;依次对同源多道弹性波数据进行截断预处理、谱分析归一化,得到多源多道谱分析数据体,再将多次覆盖测点异源谱分析数据叠乘,得到叠后谱分析数据体,然后,

对叠后谱分析数据体时程转换,空间位置数学插值,二维三维成像,得到检测结果。本发明提高了系统检测效率,降低了冲击响应主观影响,提升了检测精度。



CN 110346453 B

1. 一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法,其特征在于,该方法具体包括以下步骤:

S1: 将弹性波激振器与拾波传感器按相同几何尺度排列组合安装在同一个检测装置上,激振器通过瞬态激励产生弹性波,拾波传感器接受沿介质传播弹性波,S表示弹性波激振器,R表示拾波传感器;

S2: 检测装置在待测混凝土结构表面移动,此时弹性波激振器与拾波传感器同步工作,弹性波激振器每次激励形成同源多道弹性波数据,多次激励形成多源多道弹性波数据体  $x_{R_i,j,k}(t)$ ,i为拾波传感器编号,j为弹性波激振器次数激励编号,j=1,2,……,n,n为弹性波激振器次数激励编号的总数量;k为测点编号;

S3: 依次对同源多道弹性波数据进行预处理,谱分析归一化,得到多源多道谱分析数据体;

S4: 将多次覆盖测点异源谱分析数据叠乘,得到叠后谱分析数据体;

S5: 对叠后谱分析数据体时程转换,通过空间位置数学插值进行二维或三维成像,得到检测结果;

所述步骤S5包括:先将叠后谱分析数据体  $\bar{F}_k(f)$  时程转换  $\bar{F}_k(z)$ ,其中  $z = \mu V/f$ ,z为检测深度, $\mu$ 为系数,V为传播速度;然后将数据体  $\bar{F}_k(z)$  按测点坐标(x,y)通过数学插值得  $\bar{F}(x,y,z)$ ,再进行三维或二维成像,得到检测结果。

2. 根据权利要求1所述的一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法,其特征在于,所述步骤S1中,弹性波激振器与拾波传感器按照一对多或者多对一的数量按相同几何尺度排列组合安装在检测装置上。

3. 根据权利要求1所述的一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法,其特征在于,所述步骤S3中,对同源多道弹性波数据进行截断预处理,降低同源多道弹性波数据中的直达波、面波和声波的干扰。

4. 根据权利要求1所述的一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法,其特征在于,所述步骤S3中,依次对预处理后同源多道弹性波数据谱分析归一化,得到多源多道谱分析数据体  $F_{R_i,j,k}(f)$ :

$$F_{R_i,j,k}(f) = \Gamma \left[ X(x_{R_i,j,k}(t)) \right]$$

其中  $F_R(f)$  为谱分析结果,X为谱变换, $\Gamma$ 为归一化。

5. 根据权利要求4所述的一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法,其特征在于,所述步骤S4中,将多次覆盖测点异源谱分析数据叠乘,得到叠后谱分析数据体  $\bar{F}_k(f)$  为:

$$\bar{F}_k(f) = \kappa \prod_m \left[ F_{R_i,j,k}(f) \right]$$

其中  $\bar{F}_k(f)$  为k测点m次覆盖谱叠乘结果,m为测点覆盖次数, $\kappa$ 为修正系数。

## 一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于工程检测技术领域,涉及一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法。

### 背景技术

[0002] 混凝土作为一种长期以来被广泛应用的建筑材料,一直被用在各种水利和土建等工程项目中,混凝土的质量关系到整个工程的质量,所以对混凝土质量检测就显得尤为重要。

[0003] 混凝土的质量是十分重要的,当前楼房、轨道交通和公路等公共设施的建设正在全面开展,保障它们的建设安全是非常重要的。无损检测技术有助于评估建筑物的稳定性和整体性,能够对其整体或部分作质量状态监视,能够用来评估建筑材料和结构的性质及性能,并能对其内部含水量、缺陷和损伤进行测量和定位。因此,在土木工程中,无损检测技术在保障人生命财产、评价和保证建筑物的安全性、甚至对保护和保养珍贵古建筑都起到了重要作用。对混凝土缺陷检测常规方法有:钻心检测法、电磁波雷达法、X射线法、超声对测法、超声回波法、冲击回波法等。钻心检测法是有损检测,电磁波、雷达法受混凝土内部钢筋等金属物影响严重,X射线法昂贵不利于普遍应用,超声对测法需要两个检测面,且测试前预先标记测点位置粘贴耦合剂,检测效率低,这些技术与方法难以满足实际工程要求。而超声回波法、冲击回波法无损检测,作为传统而又新颖的检测方法,已应用于检测混凝土缺陷的工程中,其主要的特征如下:

[0004] (1) 超声回波法:在超声波声场所及的空间内的任何一点,都存在着一声(入射声波)及二次声波(反射波、折射声波和波型转换后的横波),换能器所接收的信号是一次声波和二次声波的叠加。通过研究反射回波信号的能量从而对混凝土内部进行分析。但是,由于换能器的余震、表面波等的干扰,反射波的起跳点不易被识别。

[0005] (2) 冲击回波法:利用一个瞬时的人工或机械冲产生应力波,应力波传播到结构内部,被缺陷表面反射回来,应力波在构件表面、内部缺陷表面来回反射产生瞬态共振,通过对反射回的应力波进行时域分析与频域分析,就能确定结构内部缺陷的深度。但是,该方法采用的单通道采集,数据量少,检测效率低,且人工或机械冲产生应力波受主客观因素影响,检测结果离散性大,效果不理想。

[0006] 因此,基于现有超声回波法中反射波干扰大起跳点不易被识别的缺陷、冲击回波法单通道采集数据量少检测结果离散性大等问题,本发明提出一种新的检测方法来提高测点数据量、覆盖次数与检测效率,通过检测装置引入多尺度,降低激励、表面波干扰,提高缺陷回波频率起跳点识别能力,从而精确检测处混凝土内部缺陷。

### 发明内容

[0007] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法,采用“小排列”快速检测模式及数据处理方法,改变单通道观测系统检测效率低、数

据量少的问题,降低冲击响应主观影响,提升检测精度。

[0008] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0009] 一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法,具体包括以下步骤:

[0010] S1:将弹性波激振器与拾波传感器按相同几何尺度排列组合安装在同一个检测装置上,波激振器通过瞬态激励产生弹性波,拾波传感器接受沿介质传播弹性波,S表示弹性波激振器,R表示拾波传感器;

[0011] S2:检测装置在待测混凝土结构表面移动,此时弹性波激振器与拾波传感器同步工作,弹性波激振器每次激励形成同源多道弹性波数据,多次激励形成多源多道弹性波数据体  $x_{R_i,j,k}(t)$ ,i为拾波传感器编号,j为弹性波激振器次数激励编号,j=1,2,……,n,n为弹性波激振器次数激励编号的总数量,k为测点编号;

[0012] S3:依次对同源多道弹性波数据进行预处理,谱分析归一化,得到多源多道谱分析数据体;

[0013] S4:将多次覆盖测点异源谱分析数据叠乘,得到叠后谱分析数据体;

[0014] S5:对叠后谱分析数据体时程转换,通过空间位置数学插值进行二维或三维成像,得到检测结果。

[0015] 进一步,所述步骤S1中,弹性波激振器与拾波传感器按照一对多或者多对一的数量按相同几何尺度排列组合安装在检测装置上。

[0016] 进一步,所述步骤S3中,对同源多道弹性波数据进行截断预处理降低同源多道弹性波数据中的直达波、面波和声波的干扰。

[0017] 进一步,所述步骤S3中,依次对预处理后同源多道弹性波数据谱分析归一化,得到多源多道谱分析数据体  $F_{R_i,j,k}(f)$ :

$$[0018] \quad F_{R_i,j,k}(f) = \Gamma \left[ X \left( x_{R_i,j,k}(t) \right) \right]$$

[0019] 其中  $F_R(f)$  为谱分析结果,X为谱变换, $\Gamma$ 为归一化。

[0020] 进一步,所述步骤S4中,将多次覆盖测点异源谱分析数据叠乘,得到叠后谱分析数据体  $\bar{F}_k(f)$  为:

$$[0021] \quad \bar{F}_k(f) = \kappa \prod_m \left[ F_{R_i,j,k}(f) \right]$$

[0022] 其中  $\bar{F}_k(f)$  为k测点m次覆盖谱叠乘结果,m为测点覆盖次数, $\kappa$ 为修正系数。

[0023] 进一步,所述步骤S5包括:先将叠后谱分析数据体  $\bar{F}_k(f)$  时程转换  $\bar{F}_k(z)$ ,其中  $z = \mu V/f$ ,z为检测深度, $\mu$ 为系数,V为传播速度;然后将数据体  $\bar{F}_k(z)$  按测点坐标(x,y)通过数学插值得  $\bar{F}(x,y,z)$ ,再进行三维或二维成像,得到检测结果。

[0024] 本发明的有益效果在于:本发明相对超声波对测法,不需要多个检测面;相对超声波平测法,可确定内缺陷位置;相对地质雷达法,不受内部钢筋等金属物影响;相对传统超声回波法与冲击回波法,本发明提出的“小排列”快速检测模式及数据处理方法,改变单通道观测系统检测效率低、数据量少的问题,降低了冲击响应主观影响与表面波干扰,提高缺

陷回波频率起跳点识别能力,进而提升了检测精度。

[0025] 本发明的其他优点、目标和特征在某种程度上将在随后的说明书中进行阐述,并且在某种程度上,基于对下文的考察研究对本领域技术人员而言将是显而易见的,或者可以从本发明的实践中得到教导。本发明的目标和其他优点可以通过下面的说明书来实现和获得。

## 附图说明

[0026] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明作优选的详细描述,其中:

[0027] 图1为本发明所述检测方法的流程图;

[0028] 图2为图3(a)所示检测装置的具体结构示意图;

[0029] 图3为实施例中“小排列”检测装置的示意图;

[0030] 图4为图3(a)所示检测装置的工作示意图;

[0031] 图5为采用图3(a)所示检测装置采集的同源多通道弹性波数据;

[0032] 图6为对图5所示弹性波数据的预处理示意图;

[0033] 图7为检测结构的内部二维成像示意图。

## 具体实施方式

[0034] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。需要说明的是,以下实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想,在不冲突的情况下,以下实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0035] 其中,附图仅用于示例性说明,表示的仅是示意图,而非实物图,不能理解为对本发明的限制;为了更好地说明本发明的实施例,附图某些部件会有省略、放大或缩小,并不代表实际产品的尺寸;对本领域技术人员来说,附图中某些公知结构及其说明可能省略是可以理解的。

[0036] 请参阅图1,为一种混凝土结构内缺陷小排列反射回波快速检测方法,具体包括以下步骤:

[0037] 1) 一个弹性波激振器与多个拾波传感器按几何尺度排列组合“小排列”检测装置,激振器通过瞬态激励产生弹性波,拾波传感器接受沿介质传播弹性波,S为弹性波激振器,R为拾波传感器,如下图3所示排列形式(图2为图3(a)的具体结构示意图,图4为图3(a)所示检测装置的工作示意图),激振器和拾波传感器的数量可根据实际待测结构的厚度及材质进行一对多或多对一的组合。

[0038] 2) 检测装置同步移动,此时弹性波激振器与拾波传感器同步工作,弹性波激振器每次激励形成同源多道弹性波数据,多次激励形成多源多道弹性波数据体 $x_{R_i,j,k}(t)$ ,i为拾波传感器编号,j为弹性波激振器次数激励编号, $j=1,2,\dots,n$ ,n为弹性激振器次数激励编号的总数量,本实施例 $n=3$ ;k为测点编号。

[0039] 3) 如图6所示,依次对图5所示同源多道弹性波数据进行预处理,降低直达波、面波、声波等干扰波影响。

[0040] 4) 依次对预处理后同源多道弹性波数据谱分析归一化,得到多源多道谱分析数据体  $F_{R_{i,j,k}}(f)$ :

$$[0041] \quad F_{R_{i,j,k}}(f) = \Gamma \left[ X \left( x_{R_{i,j,k}}(t) \right) \right]$$

[0042] 其中  $F_R(f)$  为谱分析结果,  $X$  为谱变换,  $\Gamma$  为归一化。

[0043] 5) 将多次覆盖测点异源谱分析数据叠乘,得到叠后谱分析数据体  $\bar{F}_k(f)$  为:

$$[0044] \quad \bar{F}_k(f) = \kappa \prod_m \left[ F_{R_{i,j,k}}(f) \right]$$

[0045] 其中  $\bar{F}_k(f)$  为  $k$  测点  $m$  次覆盖谱叠乘结果,  $m$  为测点覆盖次数,  $\kappa$  为修正系数。

[0046] 6) 将叠后谱分析数据体  $\bar{F}_k(f)$  时程转换  $\bar{F}_k(z)$ , 其中  $z = \mu V / f$ ,  $z$  为检测深度,  $\mu$  为系数,  $V$  为传播速度。

[0047] 7) 将数据体  $\bar{F}_k(z)$  按测点坐标  $(x, y)$  通过数学插值得  $\bar{F}(x, y, z)$ , 再进行三维或二维成像, 如图7所示,  $y=0$  时的二维成像, 得到检测结果。

[0048] 最后说明的是, 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制, 尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明, 本领域的普通技术人员应当理解, 可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换, 而不脱离本技术方案的宗旨和范围, 其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

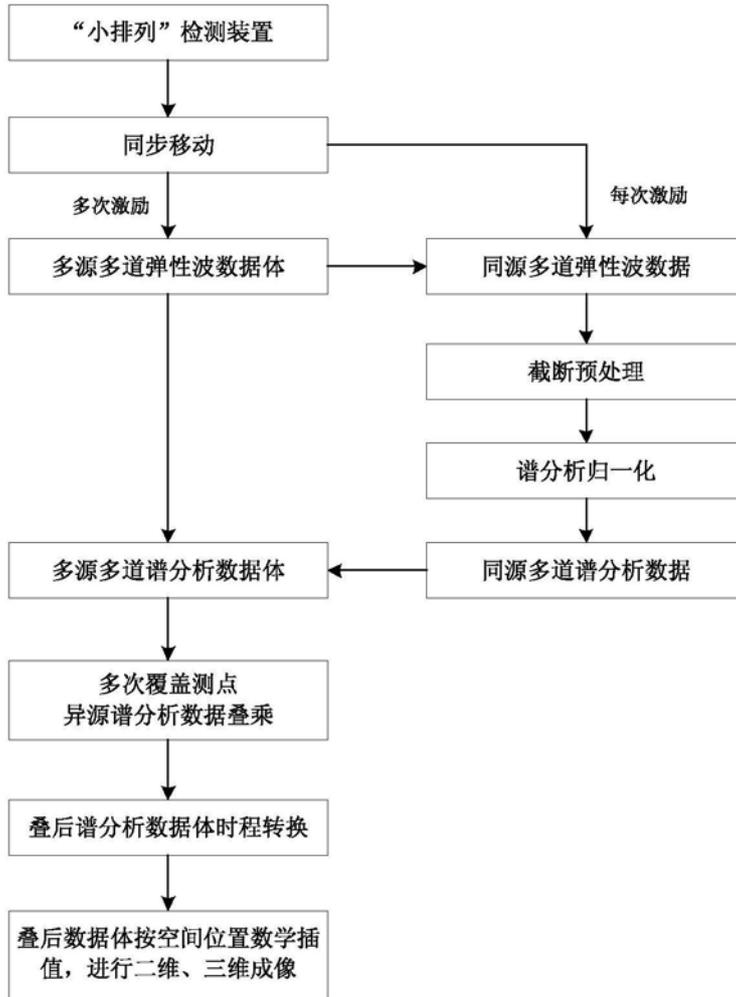


图1

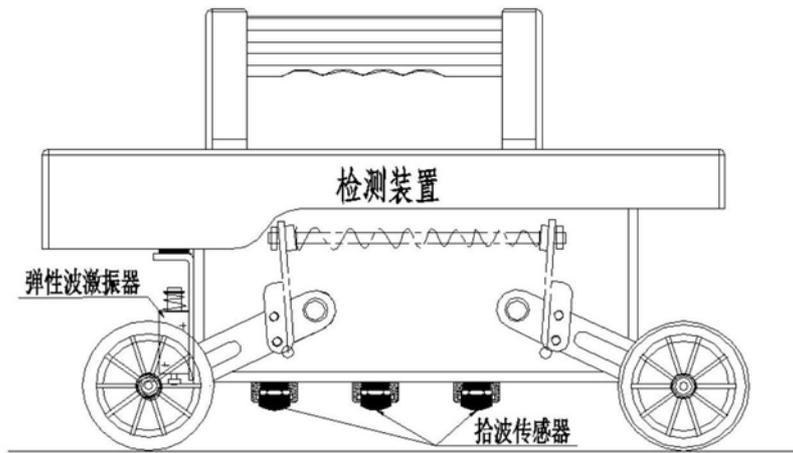
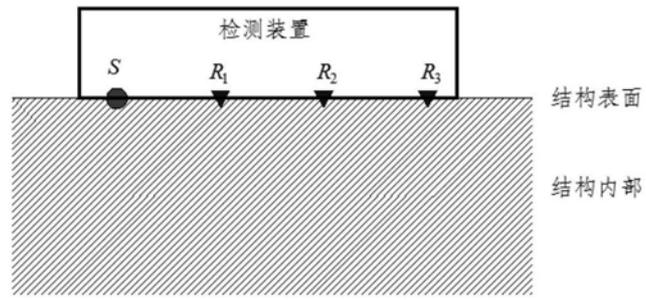
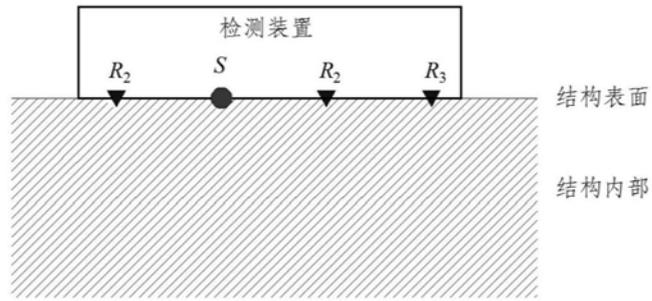


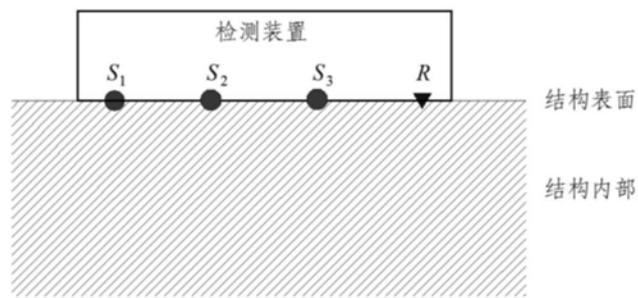
图2



(a)



(b)



(c)

图3

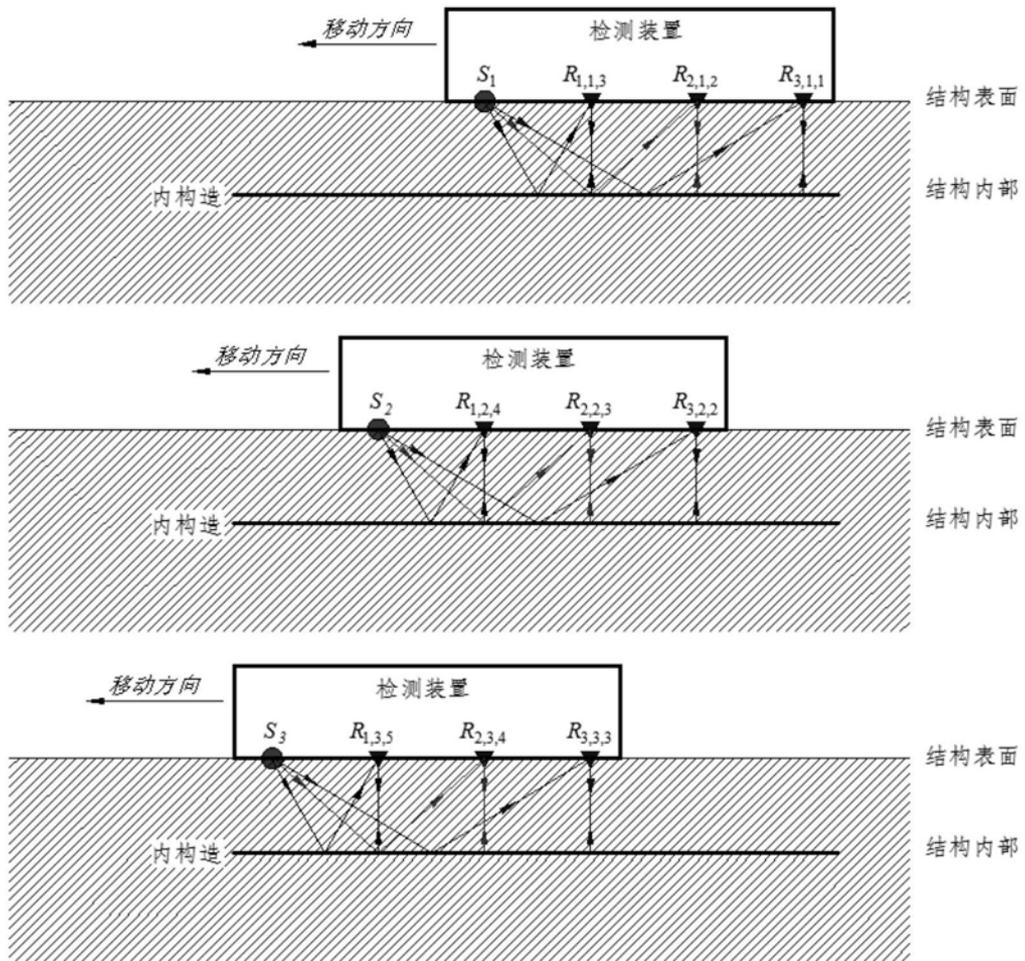


图4

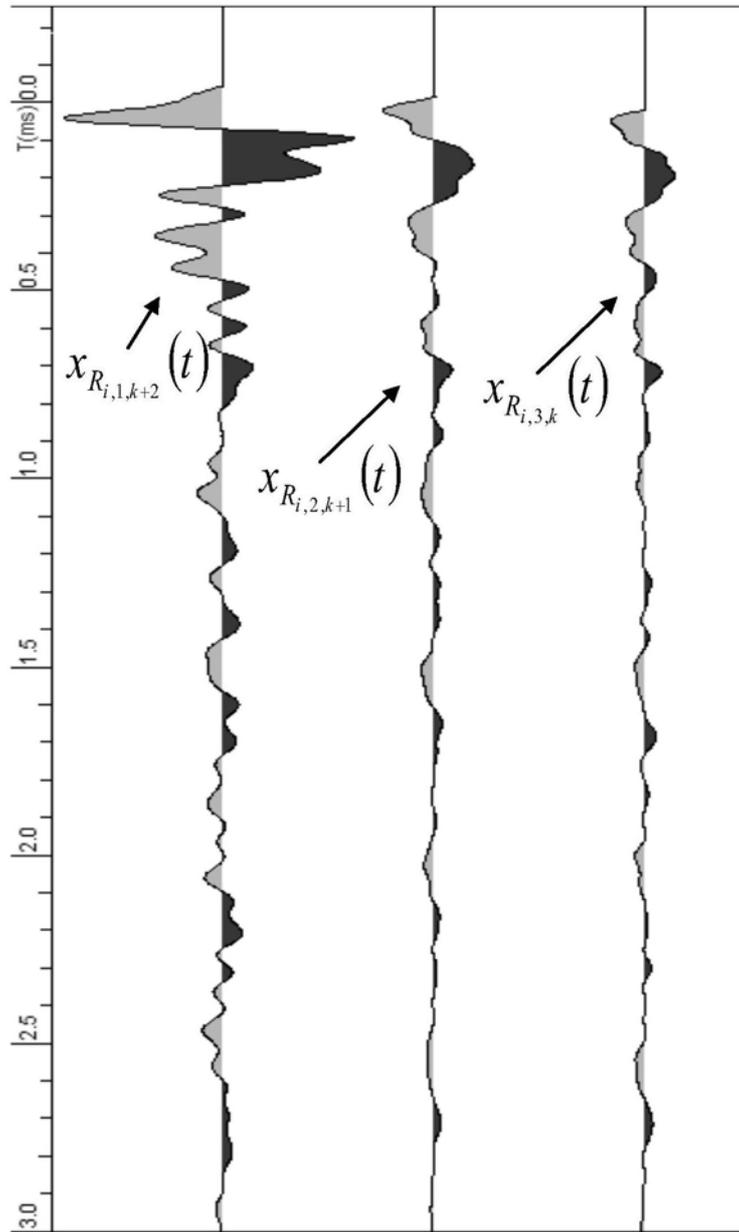


图5

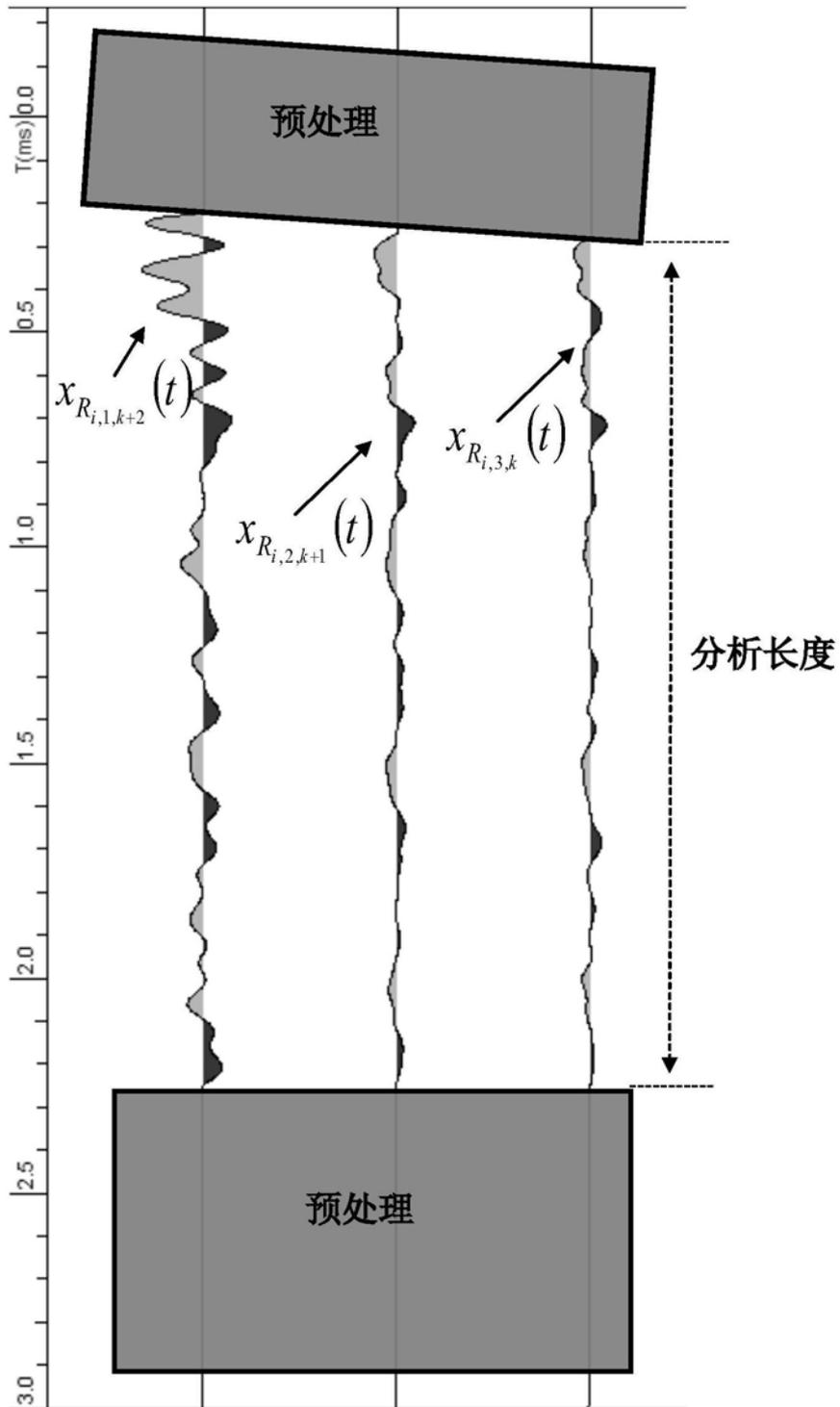


图6

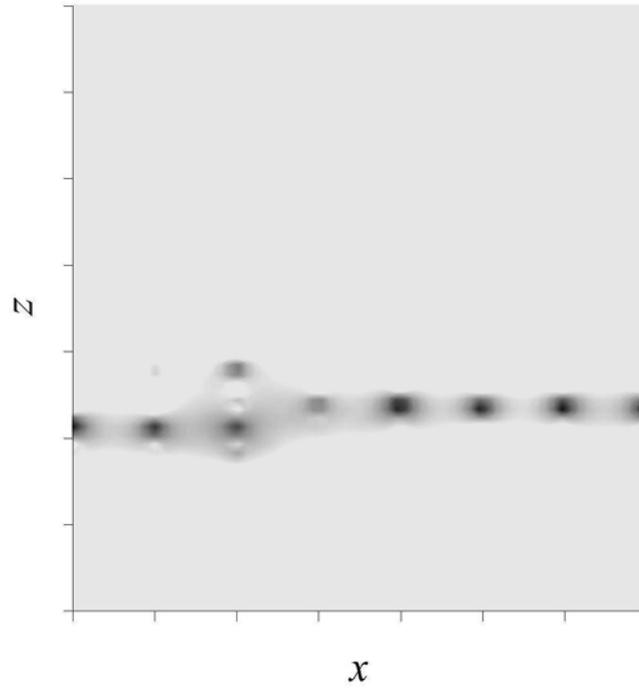


图7