



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105737728 B

(45)授权公告日 2018.06.05

(21)申请号 201610074252.8

(22)申请日 2016.02.02

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105737728 A

(43)申请公布日 2016.07.06

(73)专利权人 中国人民解放军军械工程学院
地址 050003 河北省石家庄市新华区和平
西路97号军械工程学院无人机工程系

(72)发明人 张玉华 孙慧贤 王建斌 李建增
左宪章 谢志刚 李伟

(74)专利代理机构 河北东尚律师事务所 13124
代理人 王文庆

(51)Int.Cl.
G01B 7/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 101261246 A,2008.09.10,
CN 201687469 U,2010.12.29,
CN 103610452 A,2014.03.05,
US 2005/0007017 A,2005.01.13,
JP 特开平10-78336 A,1998.03.24,
张斌强.脉冲涡流检测系统的设计与研究.
《中国优秀硕士论文数据库》.2009,第38-42页.
柯海.脉冲涡流侧后信号斜率法研究.《中国
优秀硕士论文数据库》.2013,全文.

审查员 杨华荣

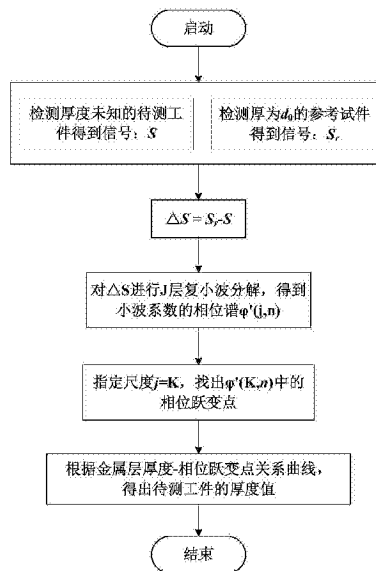
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种金属层脉冲涡流测厚方法

(57)摘要

本发明公开了一种金属层脉冲涡流测厚方法,它以信号在时频域的相位跃变点作为测厚特征量,通过对多个已知厚度的标准试件进行脉冲涡流检测实验,建立起金属层厚度与相位跃变点的关系曲线,并将它作为厚度标定曲线,辅助完成实际检测中待测工件的厚度测量。该方法将测厚特征量的提取从时域拓展到时频域,充分利用了信号频率对待测参数的分辨力,因此尤其适合有非金属涂覆层或多层金属结构测厚。而且利用相位实现测厚,相比现有直接采用时域特征量的检测方法,能有效地区分出探头提离干扰和金属层厚度变化,提高检测的抗干扰能力,保证测量结果的准确性。



1. 一种金属层脉冲涡流测厚方法,其特征在于包括以下步骤:

第一步,针对M个已知不同金属层厚度的标准试件,用脉冲涡流检测仪进行检测得到它们与已知金属层厚度的参考试件之间因厚度不同而产生的M个差分输出信号,所述参考试件的厚度大于或者小于所有标准试件的厚度,所述差分输出信号为参考试件检测信号减去标准试件检测信号所得的差值;其中,M为大于等于2的自然数;

第二步,对上述M个差分输出信号分别进行复小波变换,提取差分输出信号在时间-尺度平面相对应的相位谱,并找出相位谱中存在的相位跃变点;

第三步,根据M个标准试件厚度和与之相对应的相位跃变点,制作用于金属层厚度标定的金属层厚度与相位跃变点之间的关系曲线;

第四步,用脉冲涡流检测仪测量得到待测工件与参考试件之间因厚度不同而产生的差分输出信号,并对该差分输出信号进行复小波变换,提取该差分输出信号在时间-尺度平面相对应的相位谱,并找出该相位谱中存在的相位跃变点;

第五步,将第四步得到相位跃变点与第三步中的金属层厚度与相位跃变点之间关系曲线进行比对,计算得出待测工件的金属层厚度。

2. 根据权利要求1所述的一种金属层脉冲涡流测厚方法,其特征在于:第二步具体包括以下步骤:

(201) 指定分解层数J,对差分输出信号 ΔS_i 进行复小波变换,提取差分输出信号在时间-尺度平面相对应的相位谱,即小波系数的相位谱 $\phi_i(j,n)$,其中, $J \geq 4$,j表示尺度,n表示时间, $i=1,2,3,\dots,M$;

(202) 指定尺度 $j=K$,找出 $\phi_i(K,n)$ 中的相位跃变点;其中, $2 \leq K \leq J-1$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种金属层脉冲涡流测厚方法,其特征在于:第一步中,脉冲涡流检测仪采用差分式探头对标准试件和参考试件进行直接测量得到差分输出信号。

4. 根据权利要求1所述的一种金属层脉冲涡流测厚方法,其特征在于:第一步中,脉冲涡流检测仪采用绝对式探头分别对标准试件和参考试件进行测量,并将测量得到的标准试件的检测信号 S_i 和参考试件的检测信号为 S_r 进行差分,得到差分输出信号。

5. 根据权利要求1所述的一种金属层脉冲涡流测厚方法,其特征在于:所述的标准试件与实际待测工件的材质和结构相同,仅金属层厚度不同。

6. 根据权利要求1所述的一种金属层脉冲涡流测厚方法,其特征在于:所述的脉冲涡流检测所采用的激励信号为脉冲信号或包含多频率成分的信号;用于获取差分检测信号的探头为反射式或穿透式。

7. 根据权利要求1所述的一种金属层脉冲涡流测厚方法,其特征在于:所述的相位跃变点指对差分输出信号进行复小波变换,得到的小波系数相位曲线上,由某一负 θ 直接跃变为正 θ 所对应的时间或采样点, θ 大于135度。

一种金属层脉冲涡流测厚方法

技术领域

[0001] 本发明属于无损检测技术领域,特别涉及一种采用脉冲涡流检测技术实现金属层厚度测量的方法。

背景技术

[0002] 在许多重要的工业应用中,常常需要测量金属层厚度,作为对机械结构中关键零部件的质量安全和可靠性进行评估的依据。脉冲涡流检测技术基于电磁感应原理实现金属层测厚。当加载脉冲电压(流)的激励线圈靠近被测金属试件,试件内部会感应出瞬态电磁场,当试件厚度不同,感应电磁场在试件内部扩散的时间和衰减的程度均会发生改变,从而引起检测探头的信号变化,利用这一原理可以精确测量被测件中金属层厚度。

[0003] 现有脉冲涡流测厚方法一般根据检测信号的峰值、峰值时间或者过零点时间来推断金属层厚度,是直接由信号时域特征实现的测厚方法。在实际检测中,探头摇晃、涂镀层脱落和磨损等因素导致提离变化是很难避免的现象,它所引起的干扰信号会模糊甚至淹没掉上述检测特征量,致使从信号时域特性上很难辨别出被测件的厚度改变,严重降低检测的灵敏度和准确性。

[0004] 要解决即使有提离干扰的情况下,也能准确测厚的问题,关键在于提取出不受提离变化影响,但对金属层厚度改变却很敏感的检测特征量。根据电磁场在导电介质内的传播特性,采用时频分析方法研究脉冲涡流信号的非平稳特性是一种可行途径,目前文献资料仍局限于信号能量分布或幅值谱变化趋势的定性分析,未能提取到用于定量检测的特征量。笔者基于对常规涡流检测中提离干扰的研究成果,从脉冲涡流检测信号的相位入手,通过找出相位特征量与提离、金属层厚度之间的关系来解决上述问题。在本发明之前,未见有关报道。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种新的金属层脉冲涡流测厚方法。它基于信号在时-频域的相位特征量来完成检测,不仅可以解决时域上提离所引起的干扰信号与金属层厚度改变所产生的有用信号难以区分的问题,而且能实现对单层或多层金属试件、有非金属涂镀层试件中金属层的测厚,提高检测结果的准确性。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:

[0007] 一种金属层脉冲涡流测厚方法,其特征在于包括以下步骤:

[0008] 第一步,针对M个已知不同金属层厚度的标准试件,用脉冲涡流检测仪进行检测得到它们与已知金属层厚度的参考试件之间因厚度不同而产生的M个差分输出信号;其中,M为大于等于2的自然数;

[0009] 第二步,对上述M个差分输出信号分别进行复小波变换,提取差分输出信号在时间-尺度平面相对应的相位谱,并找出相位谱中存在的相位跃变点;

[0010] 第三步,根据M个标准试件厚度和与之相对应的相位跃变点,制作用于金属层厚度

标定的金属层厚度与相位跃变点之间的关系曲线；

[0011] 第四步,用脉冲涡流检测仪测量得到待测工件与参考试件之间因厚度不同而产生的差分输出信号,并对该差分输出信号进行复小波变换,提取该差分输出信号在时间-尺度平面相对应的相位谱,并找出该相位谱中存在的相位跃变点；

[0012] 第五步,将第四步得到相位跃变点与第三步中的金属层厚度与相位跃变点之间关系曲线进行比对,计算得出待测工件的金属层厚度。

[0013] 优选的,第二步具体包括以下步骤：

[0014] (201) 指定分解层数 J ,对差分输出信号 ΔS_i 进行复小波变换,提取差分输出信号在时间-尺度平面相对应的相位谱,即小波系数的相位谱 $\varphi_i(j,n)$,其中, $J \geq 4$, j 表示尺度, n 表示时间, $i=1,2,3,\dots,M$ ；

[0015] (202) 指定尺度 $j=K$,找出 $\varphi_i(K,n)$ 中的相位跃变点；其中, $2 \leq K \leq J-1$ 。

[0016] 优选的,第一步中,脉冲涡流检测仪采用差分式探头对标准试件和参考试件进行直接测量得到差分输出信号。

[0017] 优选的,第一步中,脉冲涡流检测仪采用绝对式探头分别对标准试件和参考试件进行测量,并将测量得到的标准试件的检测信号 S_i 和参考试件的检测信号为 S_r 进行差分,得到差分输出信号。

[0018] 优选的,所述的标准试件与实际待测工件的材质和结构相同,仅金属层厚度不同。

[0019] 优选的,所述的脉冲涡流检测所采用的激励信号为脉冲信号或包含多频率成分的信号；用于获取差分检测信号的探头为反射式或穿透式。

[0020] 优选的,所述的相位跃变点指对差分输出信号进行复小波变换,得到的小波系数相位曲线上,由某一负 θ 直接跃变为正 θ 所对应的时间或采样点, θ 大于 135° 。

[0021] 本发明的有益效果是：

[0022] 1. 本方法采用信号在时频域的相位跃变点作为测厚特征量,能有效区分检测探头的提离干扰和被检金属层的厚度变化,提高了检测的抗干扰能力和准确性。

[0023] 2. 由于将测量手段从时域拓展到时频域,充分利用频率对待测参数的分辨力,尤其适合多层结构中金属层厚度测量,也可实现不去除非金属涂覆层时的金属层测厚。

附图说明

[0024] 图1是脉冲涡流检测仪结构框图；

[0025] 图2是典型差分检测信号时域波形图；

[0026] 图3是检测信号小波系数的相位曲线图；

[0027] 图4是制作厚度标定曲线的流程图；

[0028] 图5是厚度-相位跃变点的关系曲线(厚度标定曲线)；

[0029] 图6是待测工件厚度测量流程图。

具体实施方式

[0030] 下面结合图1至图6进一步详细描述本发明的技术方案,但本发明的保护范围不局限于以下所述。

[0031] 如图1所示,一种脉冲涡流检测仪,它包括激励信号发生器、功率放大电路、检测探头(包括激励线圈和检测传感器)、信号调理电路、数据采集卡和计算机。其中激励信号发生器产生具有脉冲波形的电信号,经过功率放大电路进行放大,然后加载到激励线圈中,当检测探头靠近导电材质的被测物时,就与被测物之间通过感应电磁场产生了耦合作用,用检测传感器将感应磁场转换成电信号,经过调理电路进行调理放大,由数据采集卡输入到计算机中进行信号分析。

[0032] 本实施例中,测厚时选取一个与被测物材质和结构均相同,仅金属层厚度不一样的标准试件作参考,将它的检测信号作为基准信号,与待测工件的检测信号作差分,从理论上讲,这个差分信号就反映了金属层厚度的变化,但实际中它却极易受探头提离变化的影响,这是基于电磁感应原理的检测方法很难避免的主干扰源,反映在检测信号上就使用于测厚的有用特征量被模糊甚至淹没。图2给出了典型的差分检测信号波形,包括待测工件厚度变化、待测工件厚度变化的同时探头提离也改变这两种情况下的时域信号,很容易看出这两种信号具有极大的相似性,难以区分。这说明提离干扰出现,就会严重削弱厚度变化的分辨能力,降低检测灵敏度和结果准确性。

[0033] 本实施例中,充分考虑脉冲涡流检测信号的多频特性,将测厚特征量的提取从时域拓展到时频域,并从考察幅值转向考察相位,这是因为结合电磁场传播理论及大量实验数据分析发现:其一,信号频率对提离和金属层厚度具有分辨力,提离只显著影响高频信号,而金属层厚度变化则对中低频信号也产生影响。其二,对单一频率的信号,提离主要导致信号幅值按指数规律衰减,而相位变化甚微。金属层厚度的影响则表现为信号幅值和相位均发生明显改变,这说明相位可成为区分提离和金属层厚度的特征量。进一步地,采用时频分析方法如双树复小波变换提取检测信号的相位信息,如图3所示,在小波系数的相位曲线上有一个明显的相位跃变点,当金属层的厚度发生变化时,相位跃变点随之有规律的移动,但探头提离变化则相位跃变点不动,特别是在大尺度下这一特征尤为明显。

[0034] 一种金属层脉冲涡流测厚方法,其特征之处在于包括以下步骤:

[0035] 第一步,针对M个已知不同金属层厚度的标准试件,用脉冲涡流检测仪进行检测得到它们与已知金属层厚度的参考试件之间因厚度不同而产生的M个差分输出信号;其中,M为大于等于2的自然数;

[0036] 优选的,第一步中,脉冲涡流检测仪采用差分式探头对标准试件和参考试件进行直接测量得到差分输出信号。

[0037] 优选的,第一步中,脉冲涡流检测仪采用绝对式探头分别对标准试件和参考试件进行测量,并将测量得到的标准试件的检测信号 S_i 和参考试件的检测信号为 S_r 进行差分,得到差分输出信号。

[0038] 所述的标准试件与实际待测工件的材质和结构相同,仅金属层厚度不同。

[0039] 所述的脉冲涡流检测所采用的激励信号为脉冲信号或包含多频率成分的信号;用于获取差分检测信号的探头为反射式或穿透式。

[0040] 实施例中,步骤101:对编号为 i ,厚度为 d_i 的标准试件($i=1,2,3,\dots,M$)进行脉冲涡流检测得到检测信号 S_i ,M为标准试件的数量,可根据系统的测量精度选取;对厚度为 d_0 的参考试件测得检测信号为 S_r ,参考试件的厚度 d_0 应大于或者小于所有标准试件厚度。

[0041] 步骤102:得到参考试件与标准试件之间的差分信号 $\Delta S_i = S_r - S_i$ 。

[0042] 第二步,对上述M个差分输出信号分别进行复小波变换,提取差分输出信号在时间-尺度平面相对应的相位谱,并找出相位谱中存在的相位跃变点;

[0043] 所述的相位跃变点指对差分输出信号进行复小波变换,得到的小波系数相位曲线上,由某一负 θ 直接跃变为正 θ 所对应的时间或采样点, θ 大于135度。

[0044] 第二步具体包括以下步骤:

[0045] (201) 指定分解层数J,对差分输出信号 ΔS_i 进行复小波变换,提取差分输出信号在时间-尺度平面相对应的相位谱,即小波系数的相位谱 $\varphi_i(j,n)$,其中, $J \geq 4$,j表示尺度,n表示时间, $i=1,2,3,\dots,M$;

[0046] (202) 指定尺度 $j=K$,找出 $\varphi_i(K,n)$ 中的相位跃变点;其中, $2 \leq K \leq J-1$ 。

[0047] 第三步,根据M个标准试件厚度和与之相对应的相位跃变点,制作用于金属层厚度标定的金属层厚度与相位跃变点之间的关系曲线;

[0048] 实施例中,根据待测工件的规格要求,选择一定厚度范围内的标准试件,按照图4的步骤进行实验,测得多组厚度和相位跃变点的数值,得出如图5所示的厚度-相位跃变点关系曲线(TH-PSP曲线)。

[0049] 第四步,用脉冲涡流检测仪测量得到待测工件与参考试件之间因厚度不同而产生的差分输出信号,并对该差分输出信号进行复小波变换,提取该差分输出信号在时间-尺度平面相对应的相位谱,并找出该相位谱中存在的相位跃变点;如图6所示。

[0050] 实施例中:

[0051] 步骤401:对厚度未知的待测工件和厚度为 d_0 的参考试件进行脉冲涡流检测,得到检测信号S和 S_r 。

[0052] 步骤402:得到参考试件与待测工件之间的差分信号 $\Delta S = S_r - S$ 。

[0053] 步骤403:对差分信号 ΔS 进行J层复小波变换,得到小波系数的相位 $\varphi'(j,n)$,j表示尺度,n表示时间。

[0054] 步骤404:找出 $\varphi'(K,n)$ 中的相位跃变点。

[0055] 第五步,将第四步得到相位跃变点与第三步中的金属层厚度与相位跃变点之间关系曲线进行比对,计算得出待测工件的金属层厚度。

[0056] 本发明的关键之一在于金属层测厚所采用特征量—相位跃变点,它是指对检测信号进行复数小波变换,得到的小波系数相位曲线上,由某一负 θ 直接跃变为正 θ 所对应的时间或采样点,一般 θ 大于135°。它具有如下特点:当实际检测信号只是由探头提离变化引起的干扰信号,对应的相位跃变点不会有明显改变,特别是在大尺度(对应信号的中低频段)情况下,提离干扰信号的相位跃变点完全重合。但如果待测工件的金属层厚度发生了变化,则信号的相位跃变点会产生明显移动,且与金属层的厚度之间存在规律性联系。

[0057] 本发明的另一个关键点就是基于相位跃变点制作厚度标定曲线,通过对不同厚度的标准试件进行脉冲涡流检测实验,然后根据实测数据得出相位跃变点与金属层厚度之间的关系曲线,具体测试步骤如图2所示。需要说明的是,所用的标准试件应与实际待测工件的材质和结构相同,可选择其中厚度最小或最大的标准试件作为参考试件。

[0058] 上面结合附图对本发明进行了示例性描述,本发明的具体实现并不受上述方式的限制,只要采用了本发明的方法构思和技术方案进行的各种改进,或未经改进直接应用于

其它场合的,均在本发明的保护范围之内。

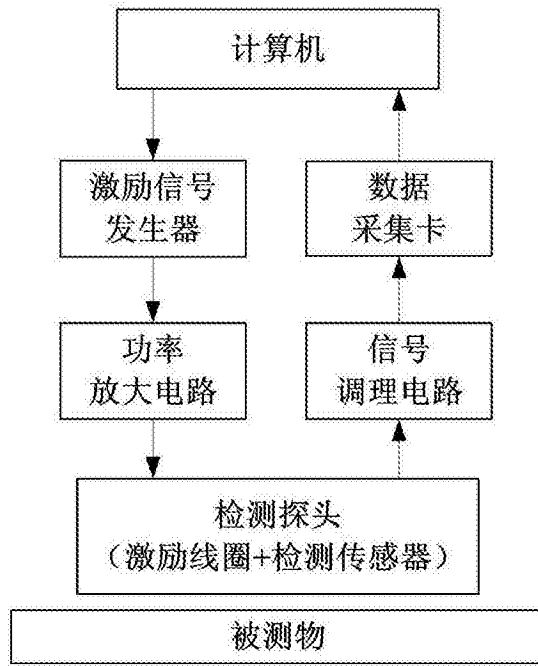


图1

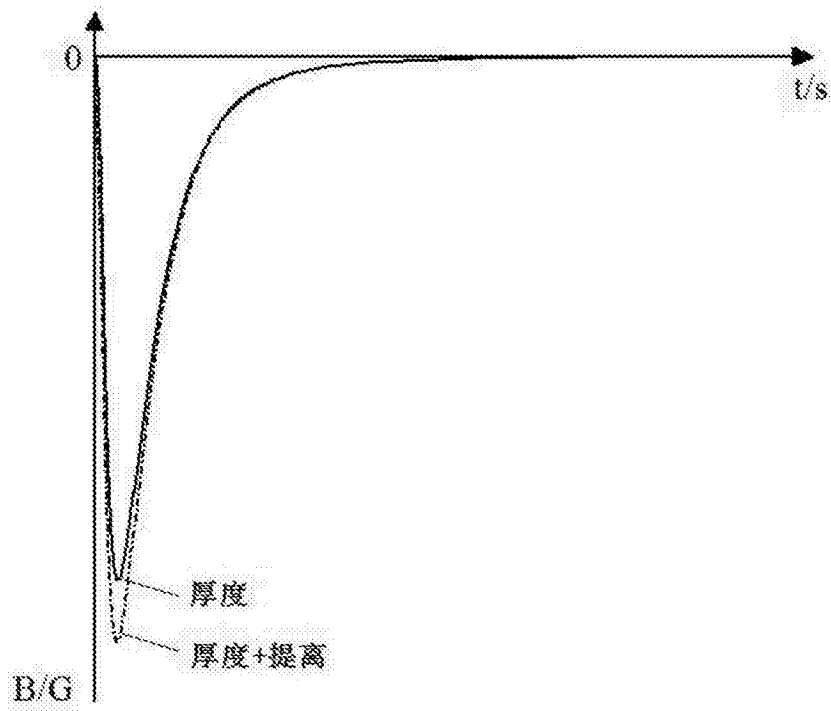


图2

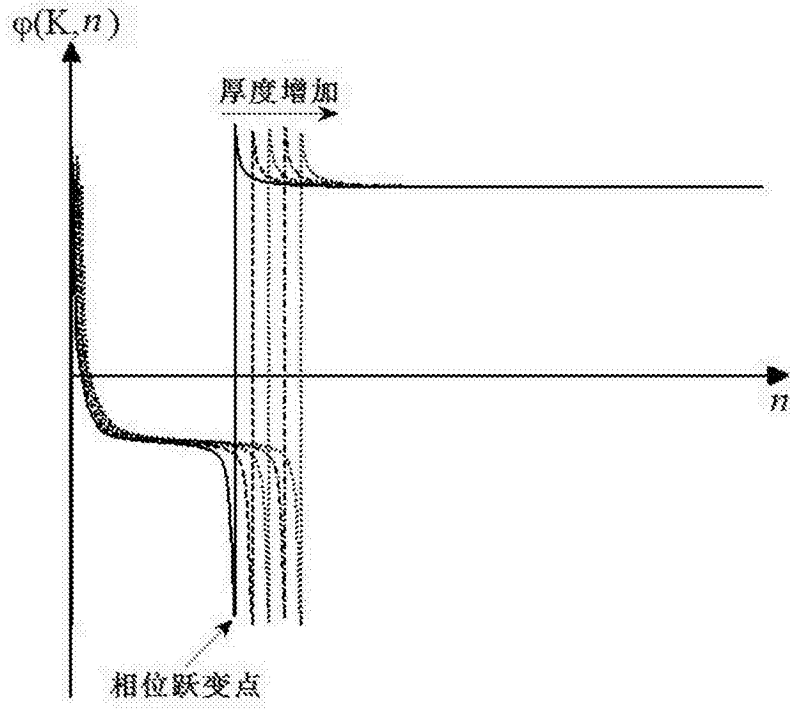


图3

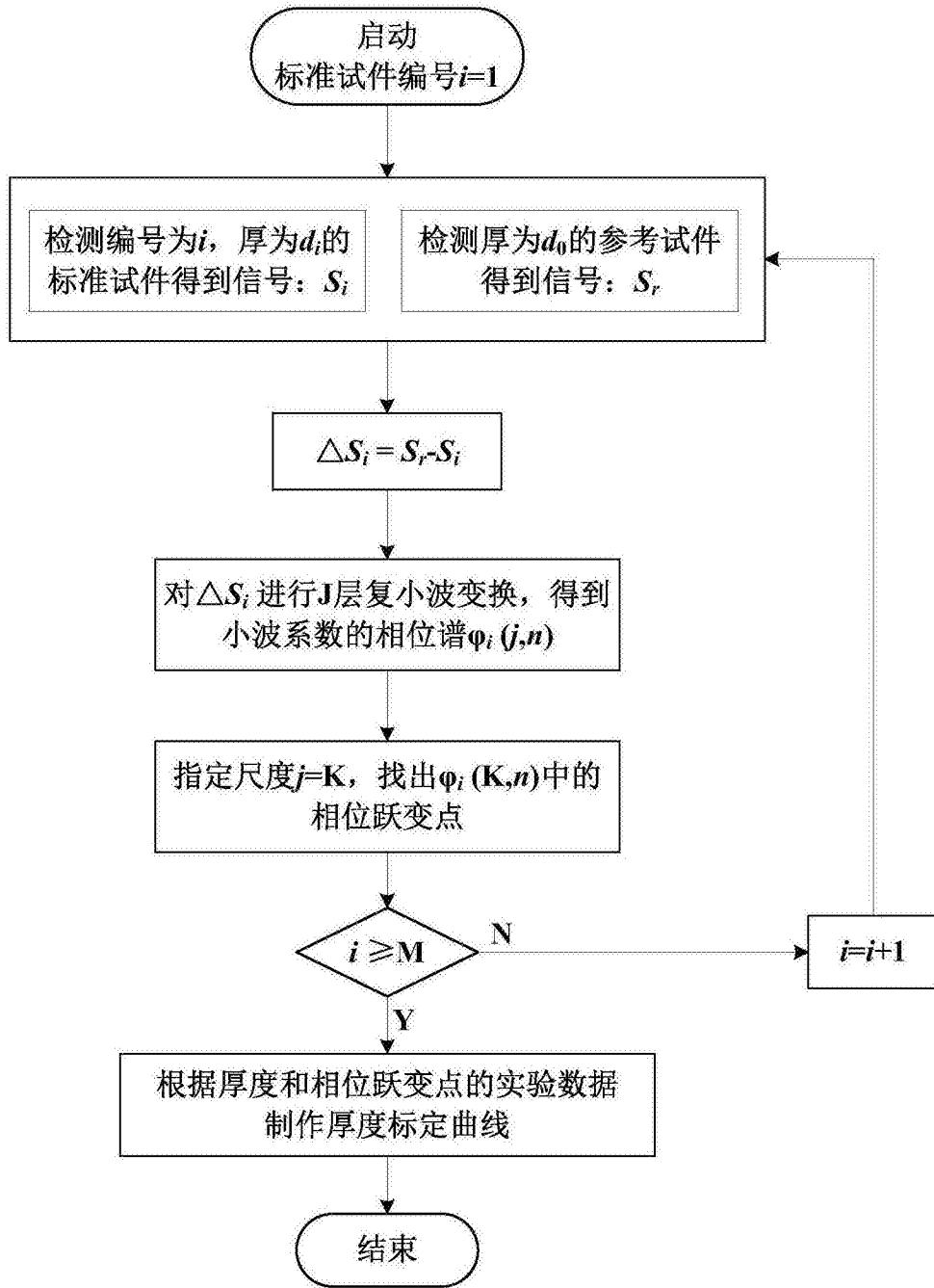


图4

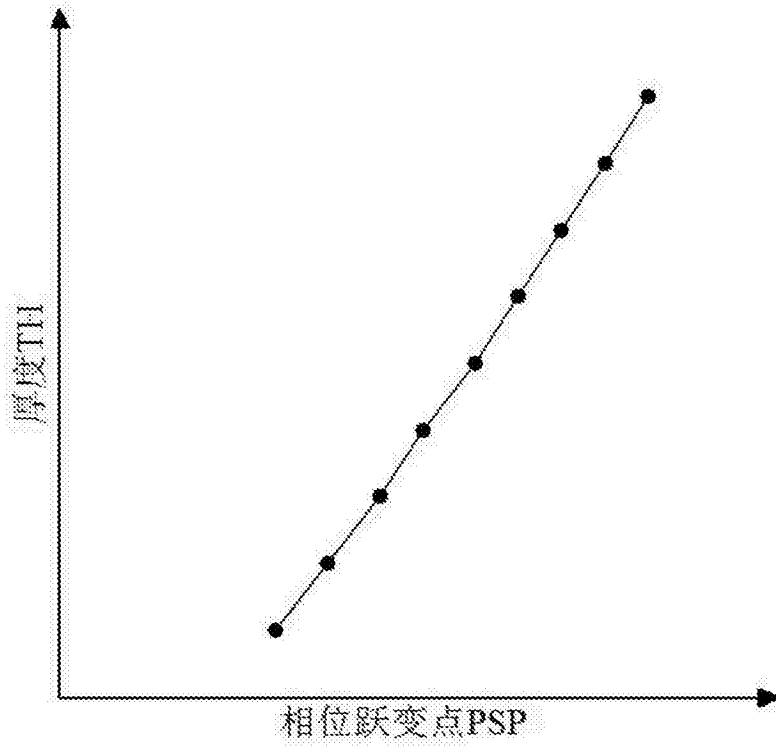


图5

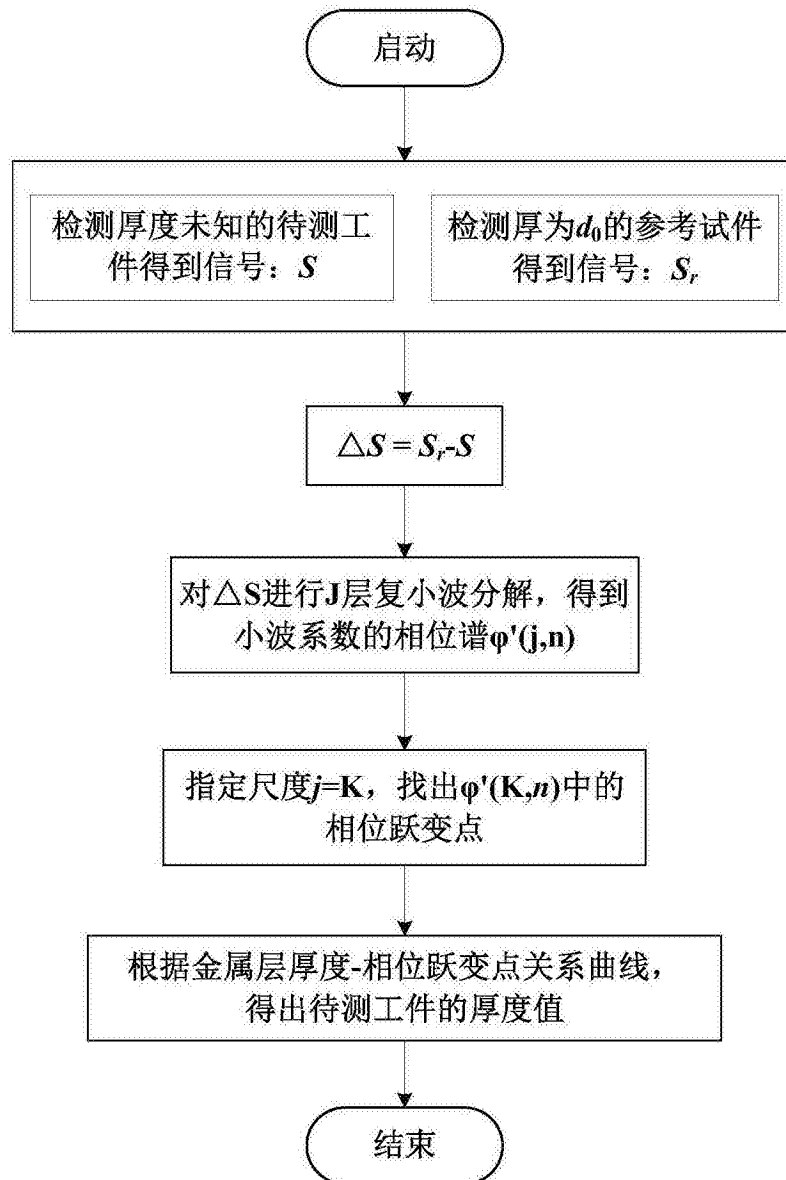


图6