



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102890117 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 23

(21) 申请号 201210033837. 7

(22) 申请日 2012. 02. 15

(71) 申请人 长江水利委员会长江科学院
地址 430010 湖北省武汉市汉口后九万方

(72) 发明人 肖国强 周黎明 王法刚 尹健民
周春华 汪洋

(51) Int. Cl.
G01N 29/07(2006. 01)

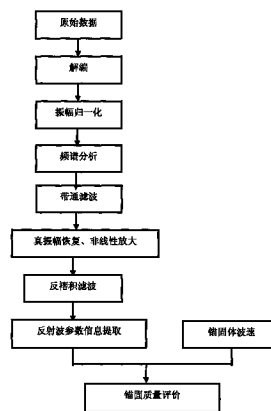
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种长锚索锚固质量检测方法及装置

(57) 摘要

本发明公开一种长锚索锚固质量检测方法及装置,通过计量锚索长度和注浆密实度的定性判别检测锚索锚固体质量。采用锚索钢绞线外露端安装锚索传感器,在该外露杆的端头多次瞬态激发,对在锚索中产生的弹性波信号采用垂直叠加技术进行采集,并对采用数据解编、频谱分析、带通滤波、有效信号提取与放大、反褶积滤波及检测成果图输出信号处理技术和步骤,获取对锚索锚固质量判断的识别参数。利用锚索锚固体内的弹性波波速和锚索底端反射界面产生的反射波信号的传播时间来进行定量计算,对锚索长度参数的判别;利用锚固体深部的反射波能量以及相位的变化关系进行定性评价,对锚索的注浆密实度参数的判别。



1. 一种长锚索锚固质量检测方法,其特征在于:定量计算锚索长度和定性给出锚固体注浆密实度级别,对锚索锚固体质量进行检测和判别,具体步骤如下:

- 1) 锚索检测信号采集;
- 2) 锚索锚固体波速实验;
- 3) 锚索锚固原始数据的信号处理过程;
- 4) 锚索锚固质量检测结果判定。

其中,步骤 1,在锚索注浆后至锚索张拉前这一时间段,在锚索钢绞线外露端采集检测信号,传感器安装位置在锚索外露端,用螺丝压紧锚索传感器使锚索传感器和钢绞线成为一个弹性体,激发位置在外露端,用一个超磁致探头激发产生波形基本一致的振动信号;锚索传感器接收到钢绞线的振动,并将机械信号转为电信号;

其中,步骤 2,在锚索穿索时,在锚索体内不同深度安装预埋传感器,锚索注浆后在不同时期进行观测,利用传感器拾取的透射波的到达时间来获取波在锚固体内的传播速度;

其中,步骤 3,对检测信号采集的原始数据进行归一化处理,使检测波形信号处于同一量级水平,进行波形对比和频谱分析;利用锚索锚固体钢绞线有效振动频带响应值,设定带通滤波的上限和下限值,采用振幅补偿等非线性放大技术对信号进行处理;再采用反褶积滤波技术压制干扰波信号、放大有用弱信号,提取波阻抗界面的反射系数,检测成果图输出。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述步骤 2 和步骤 3 输出锚索长度和注浆密实度识别结果。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述步骤 1 对原始信号波形多次垂直叠加,获取放大有效弱信号、压制干扰信号。

4. 根据权利要求 1 或 3 所述的方法,其特征在于:所述步骤 1 重复采集至少 3 到 6 次,达到多次采集的波形特征基本一致。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于:所述步骤 2 传感器技术获取波在锚固体内的传播速度,采集最先到达传感器的直达波传播速度,其波形初至起跳明显。

6. 一种长锚索锚固质量检测装置,其特征在于:传感器 (2) 安装在锚索 (1) 外露杆,磁致探头 (4) 设置在锚索 (1) 杆端,磁致探头 (4) 接激发装置 (5),传感器 (2) 接数据采集仪 (6)。

7. 根据权利要求 6 所述的检测装置,其特征在于:所述传感器 (2) 为中空的,锚索 (1) 穿入其中,紧固螺钉 (3) 将传感器 (2) 固定在锚索 (1) 上。

8. 根据权利要求 7 所述的检测装置,其特征在于:所述紧固螺钉 (3) 至少为两个或两个以上,且紧固螺钉 (3) 为两个相互垂直设置,将传感器 (2) 固定在锚索 (1) 上。

9. 根据权利要求 6 所述的一种锚索锚固质量检测传感器,其特征在于:数据采集仪 (6) 接入数据处理装置 (7),数据处理装置检测成果图输出。

一种长锚索锚固质量检测方法及装置

技术领域

[0001] 本发明属于应用地球物理学弹性波振动探测技术领域,涉及弹性波反射法技术用于硐室和高陡边坡岩体加固处理的一种长锚索锚固质量检测方法及装置。

背景技术

[0002] 岩土工程中,采用锚索锚固技术,利用锚索将破碎或者不稳定岩土体与稳定岩土体连接在一起,来提高工程岩体的整体稳定性,显著节约工程材料,有利于施工安全,已经成为提高岩土工程稳定性和解决复杂的岩土工程问题最有效的方法之一。与喷锚挂网等传统支护方法相比,锚索支护可以在岩土体开挖后能及时和快速地提供支护,主动地加固岩土体,有效地控制岩土体变形,保护地层的原有强度、提高软弱或潜在滑动面的抗剪强度,使岩土体应力状态朝稳定方向发展,能有效地防止岩土体坍塌破坏等优点。因此,锚索锚固技术广泛应用于矿山、交通、水利水电、地质等隧道、边坡、山体加固工程中。

[0003] 传统锚索质量检测的方法主要有拉拔试验、钻孔取芯法。两种方法在锚索质量检测中发挥了重要作用,但是它们均为破坏性检测,对分段锚固力、缺陷位置、注浆密实度和锚固长度等锚固质量的关键指标不能检测等缺点,使其不能满足锚索质量评价的要求和工程快速化施工的要求。电法、电磁法和磁法等非弹性波无损检测技术从理论上可以对锚索质量进行评价,但由于其自身的局限性,该技术难以全面评价锚索质量,如脉冲电磁波反射法能检测锚杆长度,但检测锚杆注浆密实度精度低;磁法能对锚杆应力状态进行评价,但对锚杆长度、缺陷位置等指标不能进行评价。

[0004] 弹性波反射法是利用波动参数振幅、波动能量与锚杆质量指标如注浆密实度具有一定相关性的参数指标对锚索质量进行检测,具有无损、快速、简便和成本低等优点,是锚杆质量检测的主要方法。弹性波反射法已在锚杆质量检测中得到了广泛的应用,应用对象局限于 10m 左右的短锚杆。

[0005] 但随着工程的巨型化和快速化,要求长大距离锚固,锚索的锚固技术得到了相应发展与应用,锚索长度在交通、矿山等工程均为 30m 左右,特别在水电工程中,锚索长度则更大,一般为 50-80m。而长度较大的锚索,尤其是 60m 以上的超长锚索的应用。由于锚索施工工艺的复杂性、围岩结构的复杂性、施工的快速化以及锚索施工的隐蔽性等因素,锚索工程势必会存在不同程度的质量缺陷,难以满足工程设计所要求的加固效果,为了保证锚索锚固质量工程质量,工程技术人员致力于长锚索锚固质量无损检测技术和方法研究。

[0006] 由此,针对长锚索锚固质量的检测遇到接收的信号比较微弱,有较大的干扰信号问题,我们研究和开发一种适用于长锚索锚固质量检测的方法及专用传感器,试图将原始信号底端反射波经滤波、放大处理后,有效压制干扰信号,识别和提取有效弱反射波信号。

发明内容

[0007] 本发明的目的之一是解决锚索锚固质量检测有效信号能量弱和高频干扰信号能量大的问题,提出一种以计量锚索长度和锚固体注浆密实度,对锚索锚固体质量进行检测

和判别的方法,通过对弹性波信号进行垂直叠加技术采集及数据处理技术和步骤,输出检测成果图,获取对锚索锚固质量判断的识别参数。

[0008] 本发明的目的之二是提出一种长锚索锚固质量检测装置,采用锚索钢绞线外露端安装锚索传感器,在该外露杆端头设置磁致探头且激发装置多次瞬态激发,对在锚索中产生的弹性波信号采用垂直叠加技术进行采集,有效采集到锚索锚固体深部微弱的有效反射波信号,并能从采集到的复杂信号识别和提取该反射波信号,获取定量锚索长度和注浆密实度定性判别结果来检测锚索锚固体质量。

[0009] 本发明解决其技术问题采用以下技术方案:一种长锚索锚固质量检测方法,主要是定量计算锚索长度和定性给出锚固体注浆密实度级别,对锚索锚固体质量进行检测和判别,具体步骤如下:

[0010] 1) 锚索检测信号采集;

[0011] 2) 锚索锚固体波速实验;

[0012] 3) 锚索锚固原始数据的信号处理过程;

[0013] 4) 锚索锚固质量检测结果判定。

[0014] 其中,步骤 1,在锚索注浆后至锚索张拉前这一时间段,在锚索钢绞线外露端采集检测信号,传感器安装位置在锚索外露端,用螺丝压紧锚索传感器使锚索传感器和钢绞线成为一个弹性体,激发位置在外露端,用一个超磁致探头激发产生波形基本一致的振动信号;锚索传感器接收到钢绞线的振动,并将机械信号转为电信号;

[0015] 其中,步骤 2,在锚索穿索时,在锚索体内不同深度安装预埋传感器,锚索注浆后在不同时期进行观测,利用传感器拾取的透射波的到达时间来获取波在锚固体内的传播速度;

[0016] 其中,步骤 3,对检测信号采集的原始数据进行归一化处理,使检测波形信号处于同一量级水平,进行波形对比和频谱分析;利用锚索锚固体钢绞线有效振动频带响应值,设定带通滤波的上限和下限值,采用振幅补偿等非线性放大技术对信号进行处理;再采用反褶积滤波技术压制干扰波信号、放大有用弱信号,提取波阻抗界面的反射系数,检测成果图输出。

[0017] 而且,所述步骤 2 和步骤 3 输出锚索长度和注浆密实度识别结果。

[0018] 而且,所述步骤 1 对原始信号波形多次垂直叠加,获取放大有效弱信号、压制干扰信号。

[0019] 而且,所述步骤 1 重复采集至少 3 到 6 次,达到多次采集的波形特征基本一致。

[0020] 而且,所述步骤 2 传感器技术获取波在锚固体内的传播速度,采集最先到达传感器的直达波传播速度,其波形初至起跳明显。

[0021] 一种长锚索锚固质量检测装置,主要是将传感器安装在锚索外露杆,磁致探头设置在锚索杆端,磁致探头接激发装置,传感器接数据采集仪。

[0022] 而且,所述传感器为中空的,锚索穿入其中,紧固螺钉将传感固定在锚索上。

[0023] 而且,所述紧固螺钉至少为两个或两个以上,且紧固螺钉为两个相互垂直设置,将传感器固定在锚索上。

[0024] 而且,数据采集仪接入数据处理装置,数据处理装置检测成果图输出。

[0025] 本发明与现有技术相比还具有以下的主要优点:

[0026] 1、本发明采用系统化的锚索信号处理方法和步骤,有效采集到锚索锚固体深部微弱的有效反射波信号,并能从采集到的复杂信号识别和提取该反射波信号;根据反射波到达时间、反射波能量以及反射波相位和入射波相位的关系,可以快速判别锚索锚固质量,准确地计算锚索长度和定性评价注浆密实度。

[0027] 2、本发明锚索锚固质量检测装置,采用的传感器为中空式压电传感器,传感器安装位置在锚索外露杆,能保证传感器和锚索最佳匹配,传感器频带宽,频带范围能覆盖锚索结构振动的频响范围;在锚索钢绞线外露端采集检测信号,激发位置在杆端,激发装置接磁致探头,数据采集的观测方式采用激振器和信号接收器安装在同一根钢绞线,该观测方式接收信号的能量最强,即有利于微弱信号的接收。

[0028] 3、本发明数据采集过程中采用垂直叠加技术,该技术利用数据采集仪的浮点放大功能,在钢绞线外露端端头激发信号,安装在激发器附近的信号接收传感器接收到从锚固体内传播的振动信号,并传输到数据采集仪。对同一根钢绞线进行多次激发和接收,多次接收到的时序曲线相加,数据采集仪自动根据相加后的信号大小来确定放大倍数。既根据振动信号的幅度,动态调整放大倍数(量程范围),从而把幅度相差悬殊的振动信号始终放大至最佳值,保证了对微弱振动信号的精确测量,使波形准确、不失真。采用垂直叠加技术的优点是增大微弱信号的能量,压制随机干扰信号,有利于微弱信号的提取和识别。

[0029] 4、采用预埋传感器技术研究锚固体内波速变化规律,即在锚固体内部安装信号传感器,根据不同龄期预埋传感器接收到的透射波到达时间,计算出波在锚固体内的传播速度。其波速变化规律为无灌浆时,锚固体内波的传播速度最大,灌浆后,波的传播速度减少,且灌浆越密实,波速就越小。

[0030] 5、本发明对采集到数据进行数据格式改编,转变为用户可以读取的数据格式,在数据中读取最大数据,时序曲线的每一个数据除以最大值,做振幅归一化处理,以减少激发条件和激发能量对检测波形的影响,使能量处于统一量级水平上,有利于锚固体注浆密实度的评价。

[0031] 6、本发明对接收信号数据处理进行傅立叶变换,确定锚固体振动的频谱特性,确定带通滤波的上限和下限值,进行带通滤波,利于保留有效信号的频带范围,提高检测信号的信噪比。

[0032] 7、本发明数据处理采用非线性放大技术。检测信号中的深部反射波能量弱除与界面波阻抗差异小外,波的几何扩散,即波传播的距离越大,能量损失越大,其能量一般按指数形式衰减和粘弹性介质的吸收衰减均造成了能量损失,通过对上述指数函数进行反变换,来补偿波前几何扩散和介质吸收衰减对反射波能量的损失。达到增强弱反射波能量的目的,并使反射波能量处于真实的水平上。

[0033] 8、本发明锚索质量弹性波反射法采用反褶积滤波,使具有一定延续时间的子波波形成得到压缩,提高了检测精度,并能压制干扰信号。

附图说明

[0034] 图1是本发明检测方法数据采集合格的原始波形曲线图。

[0035] 图2是锚索11、12实验不同阶段锚固体波速变化曲线图。

[0036] 图3是本发明检测方法的数据处理流程图。

[0037] 图 4 是本发明检测方法的数据处理成果图。

[0038] 图 5 是本发明检测装置结构示意图。

[0039] 锚索 (1)、传感器 (2)、紧固螺钉 (3)、磁致探头 (4)、激发装置 (5)、接数据采集仪 (6)、数据处理装置 (7)。

[0040] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0041] 一种长锚索锚固质量检测方法,利用采集到锚索锚固体深部微弱的有效反射波信号,根据反射波到达时间、反射波能量以及反射波相位和入射波相位的关系,可以准确地计算锚索长度和定性评价注浆密实度,并对锚索锚固体质量进行检测和判别。检测方法分四个步骤:一、锚索检测信号采集;二、锚索锚固体波速实验;三、锚索锚固原始数据的信号处理过程;四、锚索锚固质量检测结果判定。

[0042] 步骤一、锚索检测信号采集。在锚索注浆后至锚索张拉前这一时间段,在锚索钢绞线外露端采集锚索检测,传感器安装位置在锚索外露杆,激发位置在杆端,用激振器的超磁致探头激发产生波形基本一致的振动信号,用螺丝压紧锚索传感器使锚索传感器和钢绞线成为一个弹性体,锚索传感器接收到钢绞线的振动,并将机械信号转为电信号。

[0043] 对激发部位做实验,激发部位分别为安装锚索传感器的钢绞线外露端端头为自激、其它钢绞线的外露端端头为旁激和锚索托盘。同一束锚索中选取钢绞线进行三种激发部位的测试,并经处理后的波形图。以上表明:自激方式测试获得的信号强,锚索托盘、旁激方式测试获得的信号次之。采用自激方式,激发位置在杆端,用激振器一个超磁致探头激发产生波形基本一致的振动信号。

[0044] 采用激振器和信号接收器安装在同一根钢绞线,该观测方式接收信号的能量最强,即有利于微弱信号的接收。传感器采用中空式压电传感器,用螺丝压紧锚索传感器使锚索传感器和钢绞线成为一个弹性体,保证传感器和锚索最佳匹配,传感器频带宽,频带范围能覆盖锚索结构振动的频响范围。

[0045] 步骤二、锚索锚固体波速实验。在锚索穿索时,在锚索体内不同深度安装预埋传感器,锚索注浆后在不同时期进行观测,波速试验是通过预埋传感器拾取的透射波来获取,利用透射波到达时间获取波在锚固体内的传播速度。

[0046] 采用预埋传感器技术研究锚固体内波速变化规律,即在锚固体内部安装信号传感器,根据不同龄期预埋传感器接收到的透射波到达时间,计算出波在锚固体内的传播速度,采集最先到达传感器的直达波传播速度,其波形初至起跳明显。其波速变化规律为,无灌浆时,锚固体内波的传播速度最大,灌浆后,波的传播速度减少,且灌浆越密实,波速就越小。

[0047] 见图 1,选用了具有多次叠加功能的检测仪和锚索传感器。数据采集过程中采用垂直叠加技术,利用数据采集仪的浮点放大功能,在钢绞线外露端端头瞬态激发方式激发信号,安装在激发器附近的信号接收传感器接收到从锚固体内传播的振动信号,并传输到数据采集仪。该信号曲线为时序曲线,显示在显示器上,重复激发和接收,前后两次采集到的时序曲线同一时间点的数据相加,同样,对同一根钢绞线进行多次激发和接收,多次接收到的时序曲线相加,数据采集仪自动根据相加后的信号大小来确定放大倍数。单根钢绞线检测的有效波形至少 3 条,且测试波形稳定性和一致性好。既根据振动信号的幅度,动态调整放大倍数,从而把幅度相差悬殊的振动信号始终放大至最佳值。采用垂直叠加技术增大微弱信号的能量,压制随机干扰信号,有利于微弱信号的提取和识别。

[0048] 步骤三,锚索锚固原始数据的信号处理过程。对检测信号采集的原始数据进行归一化处理,使检测波形信号处于同一量级水平,进行波形对比频谱分析;利用锚索锚固体钢绞线有效振动频带响应值,设定带通滤波的上限和下限值,采用振幅补偿等非线性放大技术对信号进行处理;再采用反褶积滤波技术压制干扰波信号,提取波阻抗界面的反射系数,检测成果图输出。

[0049] 见图 3,数据处理方法流程,原始数据、解编、振幅归一化处理、频谱分析、带通滤波、非线性放大、反褶积滤波、反射波参数信息提取、锚固质量评价。

[0050] 由于测试获得的原始信号是由干扰信号和有效信号组成。在锚索质量无损检测中,波在锚固体内传播,由于波前扩散损失、传播介质对波吸收损失等原因,有效信号一般比较微弱,且往往被干扰信号所覆盖。

[0051] 对采集到数据进行数据格式改编,转变为用户可以读取的数据格式,在数据中读取最大数据,时序曲线的每一个数据除以最大值,做归一化处理,以减少激发条件和激发能量对检测波形的影响,使能量处于统一量级水平上,有利于锚固体注浆密实度的评价。

[0052] 对接收信号进行傅立叶变换,确定锚固体振动的频谱特性进行分析。

[0053] 根据锚固体振动的频谱特性,确定带通滤波的上限和下限值,进行带通滤波,保留有效信号的频带范围。

[0054] 检测信号中的深部反射波能量弱除与界面波阻抗差异小外,波的几何扩散即波传播的距离越大,能量损失越大,其能量一般按指数形式衰减和粘弹性介质的吸收衰减均造成了能量损失且能量基本上按指数形式衰减,通过对上述指数函数进行反变换,来补偿波前几何扩散和介质吸收衰减对反射波能量的损失。达到增强弱反射波能量的目的,并使反射波能量回到真实的水平上。

[0055] 受锚固体介质、仪器设备等作用,使激发的尖脉冲变成了具有一定延续时间的波形,降低了资料的检测精度。采用反褶积滤波,使具有一定延续时间的波形变成尖脉冲,提高检测资料的分辨率,压制干扰信号,提高信号的信噪比。

[0056] 锚索质量弹性波反射法获得的检测记录可采用褶积模型合成,即检测记录为地震子波和界面反射系数的褶积。地震记录和子波褶积即可得到锚固体内界面反射系数,绘制时间与反射系数曲线。从曲线中可比较准确读取反射界面的位置。

[0057] 见图 4,数据处理成果图,即经各流程处理后获得的波形图。图中第 1 道为原始波形,第 2 道、第 3 和第 4 道为经处理后的波形。对比 4 道波形可以看出:原始波形较杂乱,锚索底端反射波识别困难;经处理后,波形比较有规律,能观察到锚索底部反射波,有效压制了底部反射波之前的干扰波信号。以上表明,原始信号经滤波、放大和反褶积滤波等处理后,干扰信号被有效压制,有效弱信号被明显增强。

[0058] 步骤四,锚索锚固质量检测结果判定。根据反射波到达时间、反射波能量以及反射波相位和入射波相位的关系,可以准确地计算锚索长度和定性评价注浆密实度,并对锚索锚固体质量进行检测和判别。

[0059] 利用底部反射波到达时间和锚固体波速试验值,可计算出锚索的长度。试验表明:单根钢绞线计算长度与实际测量长度最大相差 3.00m,最小 0.28m。平均相对误差范围为 1.48 ~ 2.03m(均值 1.75m)。长度误差在 5%以内。

[0060] 锚固段密实性定性评价。由实验可知,没有灌浆时,锚固体波速为 5400m/s 左右,

随着灌浆和灌浆龄期增加,锚固体波速降低,即钢绞线被砂浆握裹后,锚固体波速降低,且握裹越密实,波速降低越大。根据弹性波反射法原理可知,波从波阻抗(波速)大的介质进入波阻抗(波速)小的介质,反射波与入射波相位相同,相反,波从波阻抗(波速)小的介质进入波阻抗(波速)大的介质,反射波与入射波反相。对于无粘结锚索,非锚固段钢绞线与砂浆非直接接触,而锚固段钢绞线直接与砂浆接触,砂浆对锚固段波速影响较大,波速降低更多。在不考虑周围岩体质量情况下,若反射波与入射波同相,表明锚固段密实性好,否则,锚固段密实性差。在考虑围岩质量情况下,随着围岩质量变好,经室内模型计算,反射波相位与入射波相位从相同变为相反。综上所述,如果反射波与入射波同相,表明灌浆质量好,反射波幅度越大,灌浆质量越好;如果反射波与入射波反相,表明围岩质量好或者灌浆质量差,反射波幅度越大,灌浆质量越差或围岩质量越好。

[0061] 见图 5,长锚索锚固质量检测装置,传感器(2)安装在锚索(1)外露杆,磁致探头(1)设置在锚索杆端(1),磁致探头(4)接激发装置(5),传感器(2)接数据采集仪(6);紧固螺钉(3)为两个相互垂直设置,且至少为两个或两个以上,将底传感器(2)固定在锚索(1)上;数据采集仪(6)接入数据处理装置(7),数据处理装置检测成果图输出。

[0062] 将传感器(2)用至少二个以上或二个以上紧固螺钉(3)压紧锚索(1)上,使锚索(14)和传感器(2)紧密在一起,采用磁致探头(4)和传感器(2)安装在同一根钢绞线,该观测方式接收信号的能量最强,在锚索(14)外露端端部激发装置(5)磁致探头(4)激发瞬间冲击力,当弹性波在锚索(1)中传播时就会产生质点振动,弹性波传递到传感器(2)底座处时,质点振动就会被传递到传感器(2)底座上。

[0063] 当底座有弹性波质点振动时,质点振动转换为电荷,即将振动信号变为电信号,选用具有多次叠加功能的数据采集仪(6),数据采集过程中采用垂直叠加技术,利用数据采集仪的浮点放大功能,在钢绞线外露端端头瞬态激发方式激发信号,安装在激发装置(5)附近的信号接收传感器接收到从锚固体内传播的振动信号,并传输到数据采集仪(6)。

[0064] 数据采集仪(6)接入数据处理装置(7),数据处理装置(7)对检测信号采集的原始数据进行数据格式改编,做振幅归一化处理,以减少激发条件和激发能量对检测波形的影响,使检测波形信号处于同一量级水平,进行波形对比频谱分析,设定带通滤波的上限和下限值,采用振幅补偿等非线性放大技术对信号进行处理;再采用反褶积滤波技术压制干扰波信号,提取波阻抗界面的反射系数,检测成果图输出。

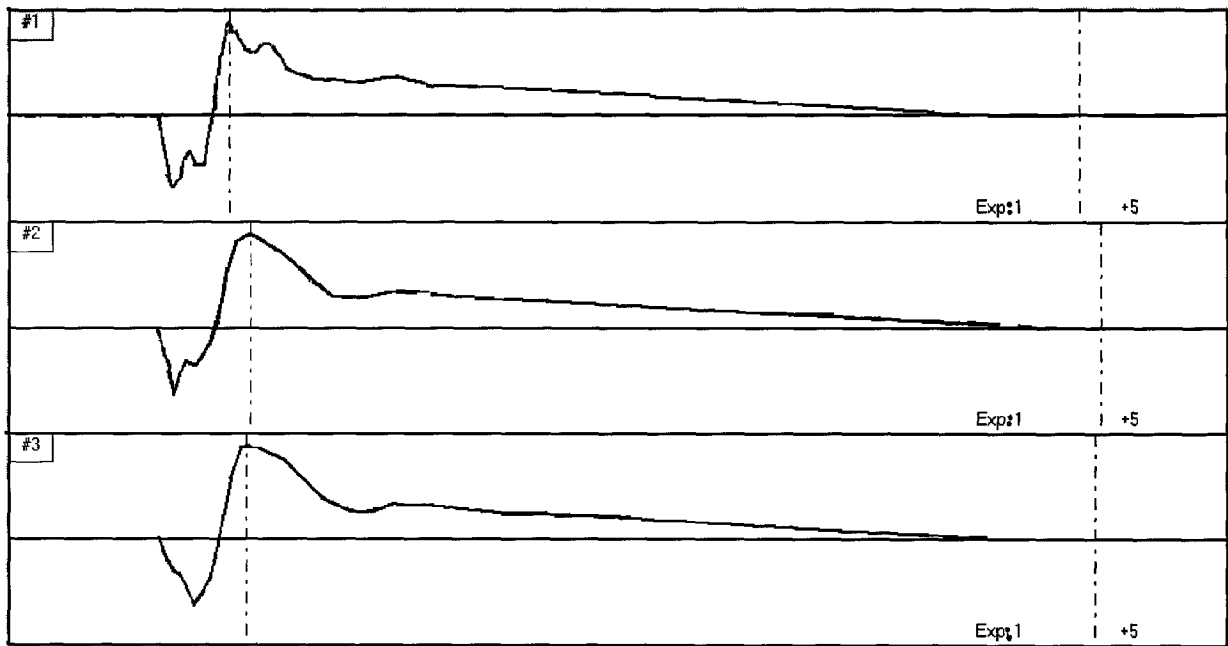


图 1

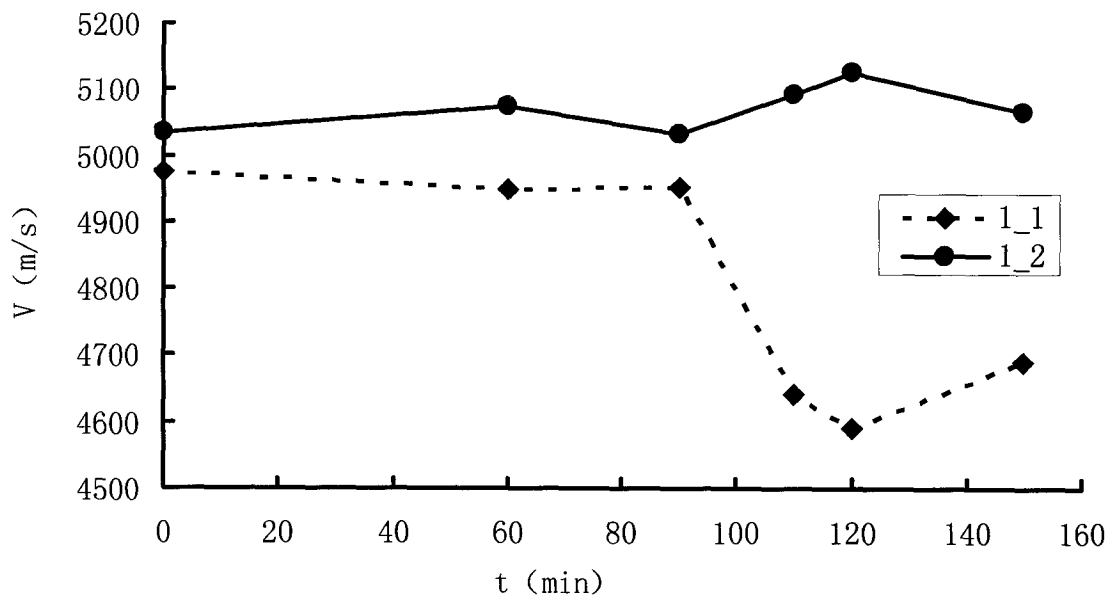


图 2

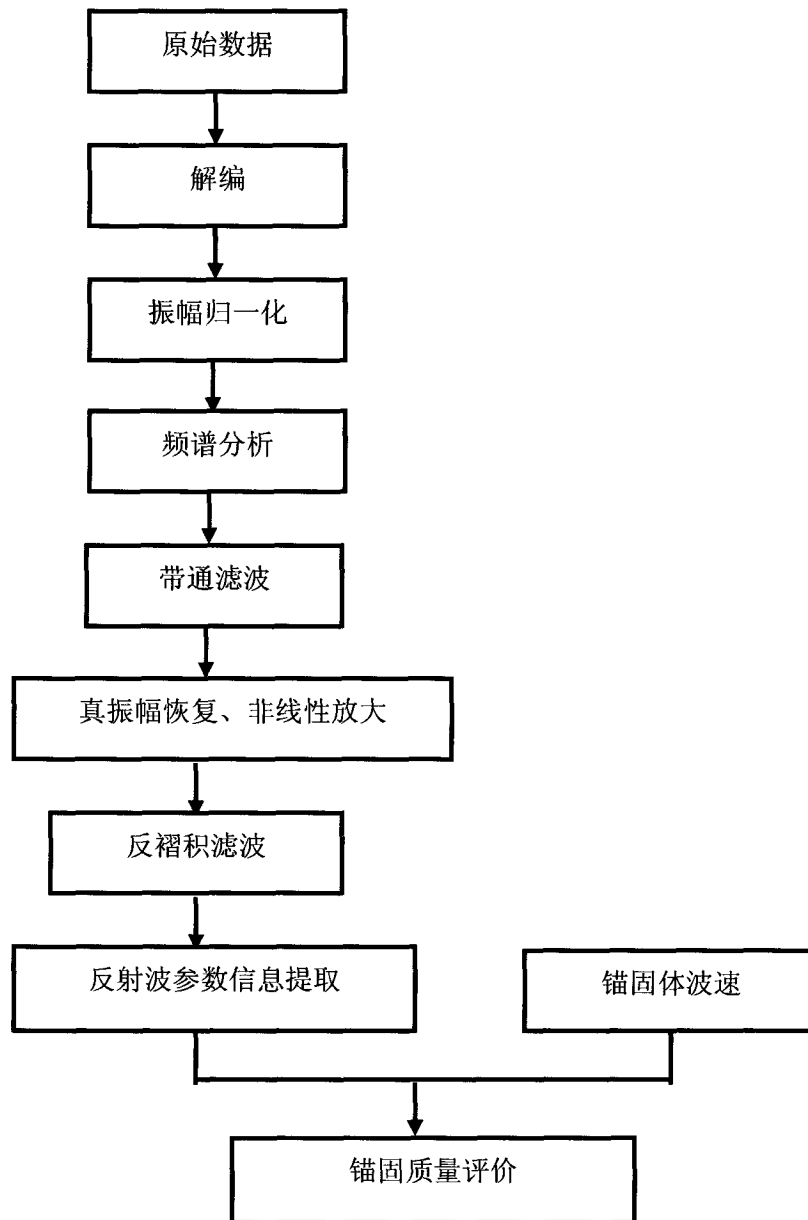


图 3

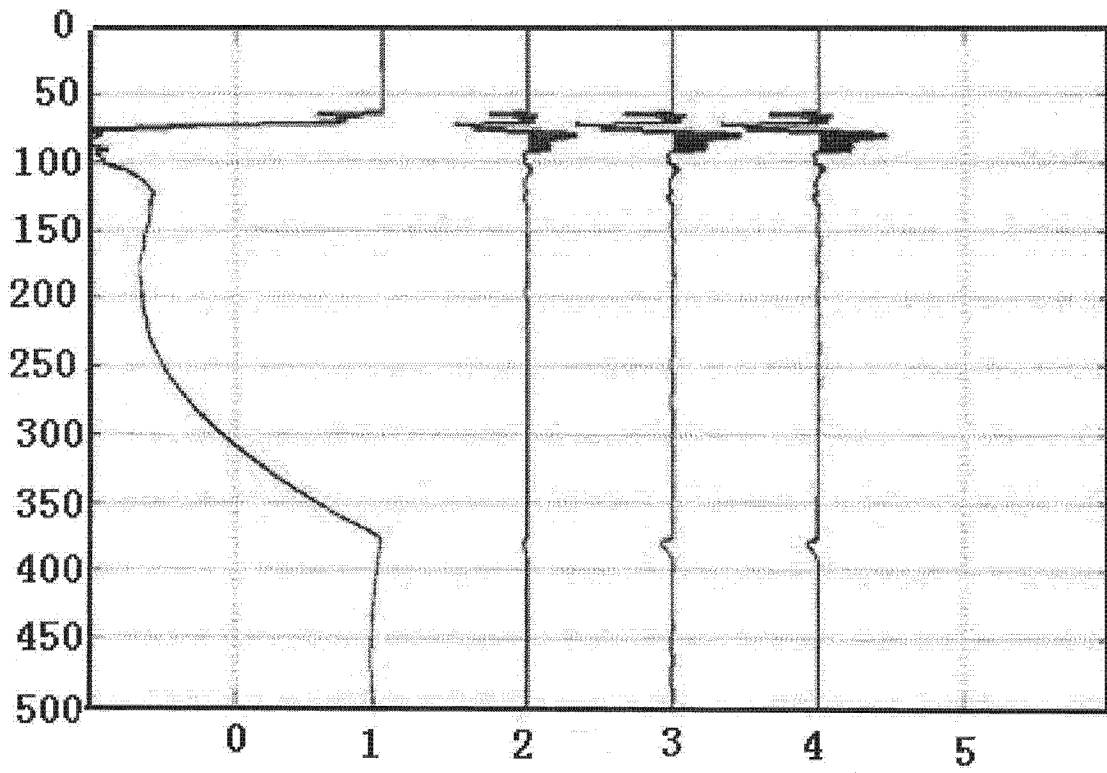


图 4

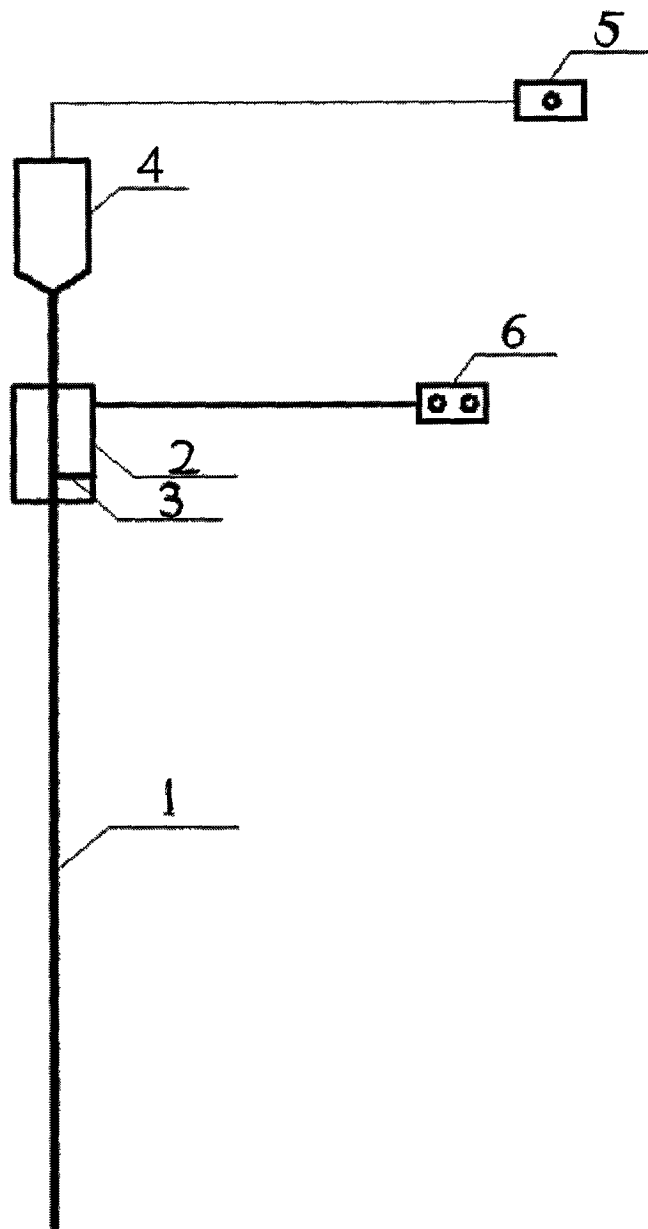


图 5