(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 120195275 A
(43)申请公布日 2025.06.24

(21)申请号 202510622103.X

(22)申请日 2025.05.15

(71)申请人 浙江省特种设备科学研究院
地址 310000 浙江省杭州市上城区凯旋路211号

(72)发明人 郭伟灿 郭顺松 缪存坚 唐萍 陶杨吉 杜兴吉 滕国阳

(74)专利代理机构 浙江新篇律师事务所 33371
专利代理师 王嘉

(51)Int.Cl.
G01N 29/06(2006.01)
G01N 29/265(2006.01)
G01N 29/44(2006.01)
G01N 29/28(2006.01)
G01N 29/32(2006.01)

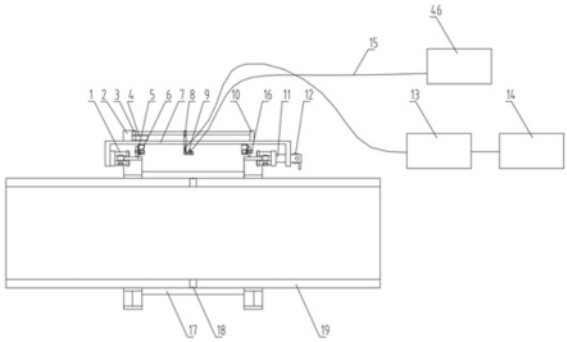
权利要求书4页 说明书11页 附图8页

(54)发明名称

一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统及检测方法

(57)摘要

本发明涉及管材检测技术领域,尤其涉及一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统及检测方法,包括超声自动检测装置和铁磁性卡箍导轨,所述铁磁性卡箍导轨套设在高参数聚乙烯复合管上,所述超声自动检测装置包括固定导轮装置、检测小车、车体主板、横向移动装置和探头装置,通过所述横向移动装置带动探头装置与所述高参数聚乙烯复合管上的电熔接头进行位置对齐,再通过驱动所述检测小车在铁磁性卡箍导轨上做圆周运动,使其带动所述探头装置对所述高参数聚乙烯复合管上的电熔接头呈C字型路径扫查。通过超声相控阵探头采用线扫和扇扫补充的方式进行扫描,能够更平稳移动以实现对缺陷的三维成像,缺陷定位更加准确,提高了检测精度。



CN 120195275 A

1.一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,其特征在于:包括超声自动检测装置和铁磁性卡箍导轨(6),所述铁磁性卡箍导轨(6)套设在高参数聚乙烯复合管(19)上;

所述超声自动检测装置包括固定导轮装置(1)、检测小车(5)、车体主板(7)、横向移动装置和探头装置(9);

所述固定导轮装置(1)固定安装在所述车体主板(7)的两端,且其滚动连接在所述铁磁性卡箍导轨(6)的侧面;

所述检测小车(5)固定安装在所述车体主板(7)的下方,且其滚动连接在所述铁磁性卡箍导轨(6)的上表面;

所述横向移动装置固定安装在所述车体主板(7)的上方,其驱动探头装置(9)进行横向移动;

所述探头装置(9)包括超声相控阵探头(42),所述探头装置(9)朝向所述高参数聚乙烯复合管(19)的方向进行设置,通过所述横向移动装置带动探头装置(9)与所述高参数聚乙烯复合管(19)上的电熔接头(18)进行位置对齐,再通过驱动所述检测小车(5)在铁磁性卡箍导轨(6)上做圆周运动,使其带动所述探头装置(9)对所述高参数聚乙烯复合管(19)上的电熔接头(18)呈C字型路径扫查。

2.根据权利要求1所述的一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,其特征在于:所述铁磁性卡箍导轨(6)分别套合在高参数聚乙烯复合管(19)上电熔接头套筒(17)两端;

所述铁磁性卡箍导轨(6)包括上卡箍(26)、下卡箍(28)、锁把(32)、卡口(30)和锁套(31);

所述上卡箍(26)和下卡箍(28)的一侧的连接处通过铰链(27)连接,所述上卡箍(26)和下卡箍(28)的另一侧两端分别连接有锁卡(29)和锁紧装置(34);

所述锁紧装置(34)包括锁套(31)、锁把(32)、转轴(33)和锁座;

所述锁把(32)铰接在锁座上,所述转轴(33)贯穿连接在所述锁把(32)的内部,所述锁套(31)与转轴(33)两端螺纹连接,通过旋转锁把(32)使得锁套(31)锁合在所述锁卡(29)的卡口(30)上。

3.根据权利要求1所述的一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,其特征在于:所述检测小车(5)包括驱动电机(23)、主动锥齿轮(22)、从动锥齿轮(21)和驱动轮(20);

所述驱动电机(23)固定安装在车体主板(7)的下表面,且其输出轴固定安装有主动锥齿轮(22),通过所述驱动电机(23)驱动与其啮合传动的从动锥齿轮(21)进行转动,从而带动与从动锥齿轮(21)位于同一轴上的驱动轮(20)进行转动,所述驱动轮(20)贴合滚动连接在所述铁磁性卡箍导轨(6)的上表面;

所述驱动轮(20)还进行电性连接有用于记录扫查过程位置信息的编码器(16);

所述固定导轮装置(1)由上导轮(36)、下导轮(37)、侧向导轮(35)、第一底板(38)和第二底板(39)组成;

所述上导轮(36)、下导轮(37)、侧向导轮(35)分别固定安装在第一底板(38)和第二底板(39)上,所述上导轮(36)、下导轮(37)、侧向导轮(35)卡在铁磁性卡箍导轨(6)侧面的边

缘部分,同时与铁磁性卡箍导轨(6)保持滚动连接;

其中一组所述固定导轮装置(1)与车体主板(7)之间设置有可调节导轮装置(11),所述可调节导轮装置(11)包括移动轴(40)和把手(12);

所述移动轴(40)一端与第二底板(39)进行固定连接,另一端铰接把手(12),所述把手(12)顶在所述车体主板(7)的右下侧,

通过将所述移动轴(40)套装在车体主板(7)的右下侧,再通过旋转所述把手(12)推动移动轴(40)移动,以使得将其中一组所述固定导轮装置(1)进行推动,使得两组固定导轮装置(1)紧固安装在所述铁磁性卡箍导轨(6)上。

4.根据权利要求1所述的一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,其特征在于:所述横向移动装置由连接板(3)、减速器(2)、导柱(24)、丝杠(25)、法兰螺母(8)、支撑块(10)和小型电机(4)组成;

两根所述导柱(24)的一端固定安装在连接板(3)上,另一端固定安装在支撑块(10)上,所述丝杠(25)的一端穿过连接板(3)固定安装在减速器(2)上,另一端转动设置在支撑块(10)上,所述减速器(2)紧靠连接板(3)固定安装在所述车体主板(7)上,并通过所述小型电机(4)进行驱动;

所述法兰螺母(8)与所述导柱(24)和丝杠(25)进行配合,通过小型电机(4)和减速器(2)的配合带动丝杠(25)进行转动,使得法兰螺母(8)沿着导柱(24)和丝杠(25)进行横向移动。

5.根据权利要求4所述的一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,其特征在于:所述探头装置(9)还包括弹簧(41)、楔块(44)和探头橡胶套(45);

所述法兰螺母(8)穿过车体主板(7)与弹簧(41)进行固定连接,且所述车体主板(7)内部开设有供法兰螺母(8)进行横向移动的滑槽,所述楔块(44)固定安装在所述弹簧(41)的下方,所述超声相控阵探头(42)固定安装在所述楔块(44)上;

所述探头橡胶套(45)固定安装于超声相控阵探头(42)的端部,对所述超声相控阵探头(42)进行保护;

所述超声相控阵探头(42)电性连接有超声相控阵仪器(13),通过所述超声相控阵仪器(13)电性连接有控制系统(14);

所述楔块(44)设置为胶态楔块,通过胶态楔块与所述电熔接头(18)形成耦合;

或者,通过所述楔块(44)和设置耦合剂补充装置组成超声耦合系统与所述电熔接头(18)形成耦合,所述耦合剂补充装置包括耦合剂补充口(43)、连接软管(15)、探头橡胶套(45)和充气筒(46);

所述充气筒(46)连通连接软管(15),所述连接软管(15)连通耦合剂补充口(43),所述耦合剂补充口(43)连通所述楔块(44)内部,所述楔块(44)内部开设有水孔,所述楔块(44)底面有匀水槽;

通过推动充气筒(46)将其内部的耦合剂经过连接软管(15)、耦合剂补充口(43)输送到楔块(44)内部,耦合剂采用水,再通过水孔和匀水槽使水流在楔块(44)内部均匀分散,从而在楔块(44)与电熔接头(18)的壁面之间创建耦合水层。

6.一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测方法,其采用权利要求1-5任一项所述的高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,其特征在于,包括聚焦方式,

具体如以下步骤：

所述超声相控阵探头(42)采用线扫和扇扫补充的方式进行扫描，使声场覆盖超声相控阵探头(42)下方电阻丝区域；

线扫过程中，所述超声相控阵探头(42)通过控制各个阵元激励和接收的时间延迟实现线扫，声场覆盖探头中间下方区域；

补充扇扫中，所述超声相控阵探头(42)通过分别控制两侧阵元的激励和接收的延迟时间实现两侧扇扫，声场覆盖探头两侧区域；

扇扫采用深度聚焦方式，聚焦深度和上述线扫保持一致，扫描的间隔角度设置为1～3°之间；

各阵元的延迟时间计算规则与线扫一致，根据聚焦位置、激励阵元中心位置、以及电熔接头(18)的表面折射点位置计算。

7.根据权利要求6所述的一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测方法，其特征在于，所述电熔接头(18)的表面折射点位置计算方法，具体如以下步骤：

所述聚焦位置、激励阵元中心位置、电熔接头(18)的表面折射点位置之间符合snell定律；

并且，由于折射点I在电熔接头表面上，电熔接头的表面折射点的x轴坐标和z轴坐标可通过相邻的电熔接头表面位置进行线性差值计算获得。

8.根据权利要求7所述的一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测方法，其特征在于，所述电熔接头(18)表面位置的测试方法，具体如以下步骤：

所述电熔接头(18)的表面位置通过所述超声相控阵探头(42)进行表面检测获得；

所述超声相控阵探头(42)移动到某一轴向检测位置，所述超声相控阵探头(42)在轴向上固定，进行表面检测；

利用所述超声相控阵探头(42)进行孔径为1阵元、步进为1阵元的电子线扫查，各阵元依次发射和接受声波，采集一次回波和二次回波的时间差，以此获得各阵元中心与正下方电熔接头表面间距。

9.根据权利要求8所述的一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测方法，其特征在于，还包括三维重构算法，具体如以下步骤：

通过检测数据在超声图像上的坐标转换成在电熔接头(18)上的坐标而实现；

超声图像的坐标系{*A*}，以所述相控阵探头的中心为图像坐标系{*A*}原点*O*，阵列排布方向作为图像坐标系{*A*}的*x*轴，深度反方向作为图像坐标系{*A*}的*z*轴；

电熔接头的坐标系{*B*}，以所述电熔接头的端面圆心作为坐标系{*B*}原点*O*’，塑料内胆中心轴为坐标系{*B*}的*x*轴，塑料内胆筒体截面为*yz*平面。

10.根据权利要求9所述的一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测方法，其特征在于，还包括缺陷识别方法，具体如以下步骤：

区域分割：采用sobel算子对所有超声检测图像进行边缘检测，去除近场区和内外冷焊区，获得图像的焊接区域以判断焊接缺陷；

信号特征提取：在焊接区域中，sobel算子提取电阻丝、孔洞、熔合面等信号特征的强边缘，计算各个单独轮廓的重心、面积、Hu矩、傅里叶描述子；

在上述强边缘的上方，利用canny算子提取特征线信号特征的弱边缘，计算弱边缘的重

心、长度、Hu矩、傅里叶描述子;

特征分类:采用支持向量机SVM,对信号特征进行分类;

缺陷识别:识别孔洞、熔合面缺陷、电阻丝错位、冷焊缺陷。

一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统及检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及管材检测技术领域,尤其涉及一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统及检测方法。

背景技术

[0002] 目前我国使用的传统管材主要有金属管和非金属管两大类。由于材料自身的特点,金属管强度具有钢度高、连接技术成熟等优点,但存在易生锈、易腐蚀等缺点;以聚乙烯管为代表的非金属管具有柔性大、耐腐蚀等优点,但存在强度低、刚度低等缺点。

[0003] 随着管道的应用领域越来越广,不同的服役环境对管道提出更高更苛刻的要求。为此人们将金属材料的高强度和非金属材料的耐蚀性特点结合起来制成了高性能高参数聚乙烯复合管。

[0004] 高性能高参数聚乙烯复合管通常应用于能源、化工、海洋资源输送等国民经济关键领域,其输送介质往往具有压力高、强腐蚀性、易燃易爆、含磨损颗粒等特点,应用于这些恶劣工况的高性能高参数聚乙烯复合管,储存能量密度高、危险性大,一旦发生事故,不仅造成的危害大。

[0005] 而高性能高参数聚乙烯复合管系统最薄弱的节点是其连接接头,因此高参数聚乙烯复合管的连接技术是其能否成功应用的关键。目前高参数聚乙烯复合管管焊接接头的质量控制主要依赖规范的焊接操作,但多种因素造成了焊接过程中难免出现缺陷。

[0006] 超声波检测作为一种非破坏性、内部可探测性检测技术逐渐成为高参数聚乙烯复合管管接头重要的检测方法。传统的高参数聚乙烯复合管管接头超声波检测多为人工操作,劳动强度大,且检测结果受人为因素影响较大。同时由于高参数聚乙烯复合管电熔套筒的规格尺寸与高参数聚乙烯复合管管道有很大区别,通常采用特殊加长增厚的电熔套筒,电阻丝布丝宽度很大,如果采用扫描手工检测,既化费时间,又得不到整个熔合面的质量信息。随着人工智能技术的不断提升,对高参数聚乙烯复合管接头的缺陷识别要求也随之提高,但现有的缺陷检测及识别依赖于专家经验,所以寻求一种自动检测与自动识别高参数聚乙烯复合管接头的缺陷的方法,开发一种高效稳定的高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统意义非常重要。

发明内容

[0007] 本发明的主要目的在于克服现有技术中的不足,提供一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统及检测方法。

[0008] 本发明为实现其技术目的所采用的技术方案是:一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,包括超声自动检测装置和铁磁性卡箍导轨,所述铁磁性卡箍导轨套设在高参数聚乙烯复合管上;

所述超声自动检测装置包括固定导轮装置、检测小车、车体主板、横向移动装置和

探头装置；

所述固定导轮装置固定安装在所述车体主板的两端，且其滚动连接在所述铁磁性卡箍导轨的侧面；

所述检测小车固定安装在所述车体主板的下方，且其滚动连接在所述铁磁性卡箍导轨的上表面；

所述横向移动装置固定安装在所述车体主板的上方，其驱动探头装置进行横向移动；

所述探头装置朝向所述高参数聚乙烯复合管的方向进行设置，通过所述横向移动装置带动探头装置与所述高参数聚乙烯复合管上的电熔接头进行位置对齐，由于固定导轮装置滚动连接在所述铁磁性卡箍导轨的侧面，便于检测小车连接在铁磁性卡箍导轨的上表面，且方便检测小车沿着铁磁性卡箍导轨的上表面进行移动，再通过驱动所述检测小车在铁磁性卡箍导轨上做圆周运动，使其带动所述探头装置对所述高参数聚乙烯复合管上的电熔接头呈C字型路径扫查。

[0009] 优选地，所述铁磁性卡箍导轨分别套合在高参数聚乙烯复合管上电熔接头套筒两端；

所述铁磁性卡箍导轨包括上卡箍、下卡箍、锁把、卡口和锁套；

所述上卡箍和下卡箍的一侧的连接处通过铰链连接，通过铰链将上卡箍和下卡箍在一侧连接铰接起来，所述上卡箍和下卡箍的另一侧两端分别连接有锁卡和锁紧装置；

所述锁紧装置包括锁套、锁把、转轴和锁座；

所述锁把铰接在锁座上，所述转轴贯穿连接在所述锁把的内部，所述锁套与转轴两端螺纹连接，通过旋转锁把使得锁套锁合在所述锁卡的卡口上。

[0010] 优选地，所述检测小车包括驱动电机、主动锥齿轮、从动锥齿轮和驱动轮；

所述驱动电机固定安装在车体主板的下表面，且其输出轴固定安装有主动锥齿轮，通过所述驱动电机驱动与其啮合传动的从动锥齿轮进行转动，从而带动与从动锥齿轮位于同一轴上的驱动轮进行转动，所述驱动轮贴合滚动连接在所述铁磁性卡箍导轨的上表面；

所述驱动轮还进行电性连接有用于记录扫查过程位置信息的编码器；

所述固定导轮装置由上导轮、下导轮、侧向导轮、第一底板和第二底板组成；

所述上导轮、下导轮、侧向导轮分别固定安装在第一底板和第二底板上，所述上导轮、下导轮、侧向导轮卡在铁磁性卡箍导轨侧面的边缘部分，同时与铁磁性卡箍导轨保持滚动连接；

其中一组所述固定导轮装置与车体主板之间设置有可调节导轮装置，所述可调节导轮装置包括移动轴和把手；

所述移动轴一端与第二底板进行固定连接，另一端铰接把手，所述把手顶在所述车体主板的右下侧，

通过将所述移动轴套装在车体主板的右下侧，再通过旋转所述把手推动移动轴移动，以使得将其中一组所述固定导轮装置进行推动，使得两组固定导轮装置紧固安装在所述铁磁性卡箍导轨上。

[0011] 将超声自动检测装置安装到铁磁性卡箍导轨之前，可调节导轮装置处于张开状

态,先将左侧的固定导轮装置中的上导轮、下导轮和侧向导轮啮合到铁磁性卡箍导轨上,再通过把手将右侧的固定导轮装置进行推动,从而将固定导轮装置安装在所述铁磁性卡箍导轨上,使其沿着铁磁性卡箍导轨轨迹进行运动。

[0012] 优选地,所述横向移动装置由连接板、减速器、导柱、丝杠、法兰螺母、支撑块和小型电机组成;

两根所述导柱的一端固定安装在连接板上,另一端固定安装在支撑块上,所述丝杠的一端穿过连接板固定安装在减速器上,另一端转动设置在支撑块上,所述减速器紧靠连接板固定安装在所述车体主板上,并通过所述小型电机进行驱动;

所述法兰螺母与所述导柱和丝杠进行配合,通过小型电机和减速器的配合带动丝杠进行转动,使得法兰螺母沿着导柱和丝杠进行横向移动。

[0013] 优选地,所述探头装置包括弹簧、超声相控阵探头、楔块和探头橡胶套;

所述法兰螺母穿过车体主板与弹簧进行固定连接,且所述车体主板内部开设有供法兰螺母进行横向移动的滑槽,所述楔块固定安装在所述弹簧的下方,所述超声相控阵探头固定安装在所述楔块上;根据预紧力需求,选用合适弹力系数的弹簧,保证楔块与电熔接头的柔性接触,且能实现运动过程中动态压紧;

所述探头橡胶套固定安装于超声相控阵探头的端部,对所述超声相控阵探头进行保护;

所述超声相控阵探头电性连接有超声相控阵仪器,通过所述超声相控阵仪器电性连接有控制系统;

所述楔块设置为胶态楔块,通过胶态楔块与所述电熔接头形成耦合;根据高参数聚乙烯复合管被检材料的声学特性和电熔套筒表面纹理状况,所述楔块采用一种特定配制的胶态楔块声传导体,目前胶态楔块初步采用甘油+水+凝固剂混合配制成一种胶态凝合物,使其声阻抗与被检材料相匹配,声速稍低于聚乙烯,在接触法检测时达到界面声传递耗损最小,声速差异可通过特定的延时补偿来消除。

[0014] 所述胶态楔块的具体配置方法,具体如以下步骤:将甘油和去离子水按1:2的比例混合,采用超声波振动乳化装置进行混合,配置成均匀的二元混合乳化液;保持超声波振动乳化装置运行,在乳化液中加入适量水玻璃、二氧化硅等纳米颗粒提高声速,加入苯氧乙醇作为防腐剂;超声波振动乳化装置继续运行,将乳化液加热至95℃,缓慢加入PVA-2699等高聚合度的聚乙烯醇进行混合,在95℃持续振动1小时,直至聚乙烯醇完全溶解;将混合液倒入楔块模具,一同放入真空脱气机去除气泡;将混合液冷却至室温形成凝胶化溶液,逐步进行干燥脱模,修剪表面。

[0015] 或者,通过所述楔块和设置耦合剂补充装置组成超声耦合系统与所述电熔接头形成耦合,所述耦合剂补充装置包括耦合剂补充口、连接软管、探头橡胶套和充气筒;

所述充气筒连通连接软管,所述连接软管具一定的长度,在检测过程中可自由地弯转,所述连接软管连通耦合剂补充口,所述耦合剂补充口连通所述楔块内部,所述楔块内部开设有水孔,所述楔块底面有匀水槽;

通过推动充气筒将其内部的耦合剂经过连接软管、耦合剂补充口输送到楔块内部,耦合剂采用水,再通过水孔和匀水槽使水流在楔块内部均匀分散,从而在楔块与电熔接头的壁面之间创建耦合水层,保障无气隙耦合的同时可降低摩擦,减小楔块的磨损。

[0016] 本发明还提供了一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测方法,其采用所述的高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,包括聚焦方式,具体如以下步骤:

所述超声相控阵探头采用线扫和扇扫补充的方式进行扫描,使声场覆盖超声相控阵探头下方电阻丝区域;

线扫过程中,所述超声相控阵探头通过控制各个阵元激励和接收的时间延迟实现线扫,声场覆盖探头中间下方区域;

各激发孔径中各个阵元的延迟时间根据聚焦位置$\mathrm{F}(x_f, z_f)$、激励阵元的中心位置$\mathrm{N}(x_n, z_n)$、以及电熔接头的表面折射点$\mathrm{I}(x_i, z_i)$进行计算;

$$T_n = \frac{\sqrt{(x_i-x_n)^2+(z_i-z_n)^2}}{c_w} + \frac{\sqrt{(x_f-x_i)^2+(z_f-z_i)^2}}{c_p};$$

其中,c_w为胶态楔块的声速,c_p为所述电熔接头的聚乙烯材料声速;

补充扇扫中,所述超声相控阵探头通过分别控制两侧阵元的激励和接收的延迟时间实现两侧扇扫,声场覆盖探头两侧区域;

扇扫采用深度聚焦方式,聚焦深度和上述线扫保持一致,扫描的间隔角度设置为1~3°之间;

各阵元的延迟时间计算规则与线扫一致,根据聚焦位置、激励阵元中心位置、以及电熔接头的表面折射点位置计算。

[0017] 优选地,所述电熔接头的表面折射点位置计算方法,具体如以下步骤:

[0018] 所述聚焦位置、激励阵元中心位置、电熔接头的表面折射点位置之间符合snell定律;

$$\frac{c_P{}^2\cdot(x_i-x_n)^2}{(x_i-x_n)^2+(z_i-z_n)^2} = \frac{c_w{}^2\cdot(x_f-x_i)^2}{(x_f-x_i)^2+(z_f-z_i)^2};$$

并且,由于折射点I在电熔接头表面上,电熔接头的表面折射点I的x轴坐标x_i和z轴坐标z_i可通过相邻的电熔接头表面位置进行线性差值计算获得;

$$\frac{z_{s1}-z_i}{x_{s1}-x_i} = \frac{z_i-z_{s2}}{x_i-x_{s2}};$$

其中,$\mathrm{S1}(x_{s1}, z_{s1})$与$\mathrm{S2}(x_{s2}, z_{s2})$为相邻的电熔接头表面位置。

[0019] 优选地,所述电熔接头表面位置的测试方法,具体如以下步骤:

[0020] 所述电熔接头的表面位置通过所述超声相控阵探头进行表面检测获得;所述超声相控阵探头移动到某一轴向检测位置,所述超声相控阵探头在轴向上固定,进行表面检测;利用所述超声相控阵探头进行孔径为1(阵元)、步进为1(阵元)的电子线扫查,各阵元依次发射和接受声波,采集一次回波和二次回波的时间差t_s,以此获得各阵元中心与正下方电熔接头表面间距$\mathrm{Z_s} = \frac{t_s}{2} * c_w$。

[0021] 优选地,还包括三维重构算法,具体如以下步骤:

[0022] 通过检测数据在超声图像上的坐标转换成在电熔接头上的坐标而实现;

超声图像的坐标系{A},以所述相控阵探头的中心为图像坐标系{A}原点O,阵列排

布方向作为图像坐标系{A}的x轴,深度反方向作为图像坐标系{A}的z轴,则成像后图像中某点P在{A}中的位置可表示为${}^{A}P = (x_p, 0, z_p)$;

电熔接头的坐标系{B},以所述电熔接头的端面圆心作为坐标系{B}原点O',塑料内胆中心轴为坐标系{B}的x轴,塑料内胆筒体截面为yz平面;

采集到第n次步进、第m次旋转的超声图像中点P在坐标系{B}中的位置是${}^{B}P = {}^{A}P * R + t$;

基于焊接面全覆盖并覆盖区域重复10%的原则,超声图像的轴向步进距离为δ,周向旋转步进角度为γ,本实施例采用逆时针旋转;

平移向量$t = (x_t, y_t, z_t) = (n\delta, -r \cdot \sin(m\gamma), r \cdot \cos(m\gamma))$表示超声图像坐标系{A}原点O在电熔接头坐标系{B}的位置,$n\delta$、$m\gamma$的位置通过编码器计算,r为电熔接头外表面的半径;坐标转换矩阵R表示为:

$$\mathrm{R} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(m\gamma) & \sin(m\gamma) \\ 0 & -\sin(m\gamma) & \cos(m\gamma) \end{pmatrix}。$$

[0023] 优选地,还包括缺陷识别方法,具体如以下步骤:

区域分割:采用sobel算子对所有超声检测图像进行边缘检测,去除近场区和内外冷焊区,获得图像的焊接区域以判断焊接缺陷;

在所有超声图像上,沿图像坐标系{A}z轴的负无穷方向,寻找第一条边界作为近场区分割线,以此分割掉近场区的杂波信号较强部分;在电熔接头两侧超声图像上,沿图像坐标系{A}x轴方向,寻找外冷焊区边界,分割外冷焊区;在电熔接头中间的超声图像上,沿图像坐标系{A}x轴方向,寻找内冷焊区边界,分割内冷焊区;

信号特征提取:在焊接区域中,sobel算子提取电阻丝、孔洞、熔合面等信号特征的强边缘,计算各个单独轮廓的重心、面积、Hu矩、傅里叶描述子;在上述强边缘的上方,利用canny算子提取特征线信号特征的弱边缘,计算弱边缘的重心、长度、Hu矩、傅里叶描述子;

特征分类:采用支持向量机SVM,对信号特征进行分类;

制作包含特征与标签的超声信号数据集,训练支持向量机;使用训练好的模型,分类边缘信号,获得电阻丝、孔洞、熔合面、特征线的识别结果。

[0024] 缺陷识别:识别孔洞、熔合面缺陷、电阻丝错位、冷焊缺陷;

判断图像中是否存在孔洞、熔合面的信号类别,若存在,识别为孔洞缺陷、熔合面缺陷;计算图像中电阻丝信号的重心位置间距,统计水平间距、计算水平间距差,若水平间距差大于标准,识别为电阻丝水平错位缺陷,统计垂直间距,若垂直间距大于标准,识别为电阻丝垂直错位;计算特征线和电阻丝各点的垂直距离,统计平均垂直距离,若垂直距离小于标准,识别为冷焊缺陷。

[0025] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:该高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统及方法,通过超声相控阵探头采用线扫和扇扫补充的方式进行扫描,轴向和周向采用机械扫查并结合电子扫描,系统记录位置信息和超声信息,可经处理后形成实时扫查图像,采用一种专门的C扫描技术能够更平稳移动以实现对缺陷的三维成像,使探头位置与缺陷在接头中的位置形成一一对应关系,从而实现投影扫描,缺陷定位更加准确,提高

了检测精度。

[0026] 并且,基于超声检测模式识别原理,建立了缺陷类型与超声图谱、缺陷几何参量和超声特征参数之间的对应关系,通过特征提取、特征优化及类型识别等步骤实现了缺陷的自动识别,开发了管道接头超声检测缺陷自动识别系统,实现了缺陷的准确识别。

附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0028] 图1为高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统示意图。

[0029] 图2为图1的部分结构的放大图。

[0030] 图3为图1的俯视结构示意图。

[0031] 图4为铁磁性卡箍导轨连接在高参数聚乙烯复合管上的侧视结构示意图。

[0032] 图5为固定导轮装置的侧视结构示意图。

[0033] 图6为可调节导轮装置的结构示意图。

[0034] 图7为探头装置的结构示意图。

[0035] 图8为相控阵超声检测线扫声场覆盖示意图。

[0036] 图9为阵元折射示意图。

[0037] 图10为相控阵超声检测扇扫声场覆盖示意图。

[0038] 图11为表面折射点计算流程示意图。

[0039] 图12为电熔接头表面检测示意图。

[0040] 图13为电熔接头检测结果三维重构示意图。

[0041] 图14为电熔接头检测结果三维重构轴向区域重叠示意图。

[0042] 图15为电熔接头检测结果三维重构侧视图。

[0043] 图16为焊接区域分割示意图。

[0044] 其中:1、固定导轮装置;2、减速器;3、连接板;4、小型电机;5、检测小车;6、铁磁性卡箍导轨;7、车体主板;8、法兰螺母;9、探头装置;10、支撑块;11、可调节导轮装置;12、把手;13、超声相控阵仪器;14、控制系统;15、连接软管;16、编码器;17、电熔接头套筒;18、电熔接头;19、高参数聚乙烯复合管;20、驱动轮;21、从动锥齿轮;22、主动锥齿轮;23、驱动电机;24、导柱;25、丝杠;26、上卡箍;27、铰链;28、下卡箍;29、锁卡;30、卡口;31、锁套;32、锁把;33、转轴;34、锁紧装置;35、侧向导轮;36、上导轮;37、下导轮;38、第一底板;39、第二底板;40、移动轴;41、弹簧; 42、超声相控阵探头; 43、耦合剂补充口; 44、楔块;45、探头橡胶套;46、充气筒。

具体实施方式

[0045] 在本发明的描述中,需要说明的是,术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,或者是该发明产品使用时惯常摆放的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不

是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位,以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区分描述,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0046] 在本发明的描述中,还需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“设置”、“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0047] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明了,下面通过附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。但是应该理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限制本发明的范围。此外,在以下说明中,省略了对公知结构和技术的描述,以避免不必要地混淆本发明的概念。

[0048] 实施例1:

[0049] 请参阅图1-图7,一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,包括超声自动检测装置和铁磁性卡箍导轨6,铁磁性卡箍导轨6套设在高参数聚乙烯复合管19上;超声自动检测装置包括固定导轮装置1、检测小车5、车体主板7、横向移动装置和探头装置9;固定导轮装置1固定安装在车体主板7的两端,且其滚动连接在铁磁性卡箍导轨6的侧面;检测小车5固定安装在车体主板7的下方,且其滚动连接在铁磁性卡箍导轨6的上表面;横向移动装置固定安装在车体主板7的上方,其驱动探头装置9进行横向移动;

探头装置9朝向高参数聚乙烯复合管19的方向进行设置,通过横向移动装置带动探头装置9与高参数聚乙烯复合管19上的电熔接头18进行位置对齐,由于固定导轮装置1滚动连接在铁磁性卡箍导轨6的侧面,便于检测小车5连接在铁磁性卡箍导轨6的上表面,且方便检测小车5沿着铁磁性卡箍导轨6的上表面进行移动,再通过驱动检测小车5在铁磁性卡箍导轨6上做圆周运动,使其带动探头装置9对高参数聚乙烯复合管19上的电熔接头18呈C字型路径扫查。

[0050] 进一步的,在本实施例中,铁磁性卡箍导轨6分别套合在高参数聚乙烯复合管19上电熔接头套筒17两端;铁磁性卡箍导轨6包括上卡箍26、下卡箍28、锁把32、卡口30和锁套31;上卡箍26和下卡箍28的一侧的连接处通过铰链27连接,通过铰链27将上卡箍26和下卡箍28在一侧连接铰接起来,上卡箍26和下卡箍28的另一侧两端分别连接有锁卡29和锁紧装置34;

锁紧装置34包括锁套31、锁把32、转轴33和锁座;锁把32铰接在锁座上,转轴33贯穿连接在锁把32的内部,锁套31与转轴33两端螺纹连接,通过旋转锁把32使得锁套31锁合在锁卡29的卡口30上。

[0051] 进一步的,在本实施例中,检测小车5包括驱动电机23、主动锥齿轮22、从动锥齿轮21和驱动轮20;驱动电机23固定安装在车体主板7的下表面,且其输出轴固定安装有主动锥齿轮22,通过驱动电机23驱动与其啮合传动的从动锥齿轮21进行转动,从而带动与从动锥齿轮21位于同一轴上的驱动轮20进行转动,驱动轮20贴合滚动连接在铁磁性卡箍导轨6的上表面;驱动轮20还进行电性连接有用于记录扫查过程位置信息的编码器16;

进一步的,在本实施例中,固定导轮装置1由上导轮36、下导轮37、侧向导轮35、第

一底板38和第二底板39组成;上导轮36、下导轮37、侧向导轮35分别固定安装在第一底板38和第二底板39上,上导轮36、下导轮37、侧向导轮35卡在铁磁性卡箍导轨6侧面的边缘部分,同时与铁磁性卡箍导轨6保持滚动连接;其中一组固定导轮装置1与车体主板7之间设置有可调节导轮装置11,可调节导轮装置11包括移动轴40和把手12;移动轴40一端与第二底板39进行固定连接,另一端铰接把手12,把手12顶在车体主板7的右下侧,

通过将移动轴40套装在车体主板7的右下侧,再通过旋转把手12推动移动轴40移动,以使得将其中一组固定导轮装置1进行推动,使得两组固定导轮装置1紧固安装在铁磁性卡箍导轨6上。

[0052] 将超声自动检测装置安装到铁磁性卡箍导轨6之前,可调节导轮装置11处于张开状态,先将左侧的固定导轮装置1中的上导轮36、下导轮37和侧向导轮35啮合到铁磁性卡箍导轨6上,再通过把手12将右侧的固定导轮装置1进行推动,从而将固定导轮装置1安装在铁磁性卡箍导轨6上,使其沿着铁磁性卡箍导轨6轨迹进行运动。

[0053] 进一步的,在本实施例中,横向移动装置由连接板3、减速器2、导柱24、丝杠25、法兰螺母8、支撑块10和小型电机4组成;两根导柱24的一端固定安装在连接板3上,另一端固定安装在支撑块10上,丝杠25的一端穿过连接板3固定安装在减速器2上,另一端转动设置在支撑块10上,减速器2紧靠连接板3固定安装在车体主板7上,并通过小型电机4进行驱动;法兰螺母8与导柱24和丝杠25进行配合,通过小型电机4和减速器2的配合带动丝杠25进行转动,使得法兰螺母8沿着导柱24和丝杠25进行横向移动。

[0054] 进一步的,在本实施例中,探头装置9包括弹簧41、超声相控阵探头42、楔块44和探头橡胶套45;法兰螺母8穿过车体主板7与弹簧41进行固定连接,且车体主板7内部开设有供法兰螺母8进行横向移动的滑槽,楔块44固定安装在弹簧41的下方,超声相控阵探头42固定安装在楔块44上;根据预紧力需求,选用合适弹力系数的弹簧41,保证楔块44与电熔接头18的柔性接触,且能实现运动过程中动态压紧;探头橡胶套45固定安装于超声相控阵探头42的端部,对超声相控阵探头42进行保护;超声相控阵探头42电性连接有超声相控阵仪器13,通过超声相控阵仪器13电性连接有控制系统14。

[0055] 进一步的,在本实施例中,所述楔块44设置为胶态楔块,通过胶态楔块与电熔接头18形成耦合;根据高参数聚乙烯复合管被检材料的声学特性和电熔套筒表面纹理状况,也可采用一种特定配制的胶态楔块声传导体的胶态楔块,目前胶态楔块初步采用甘油+水+凝固剂混合配制成一种胶态凝合物,使其声阻抗与被检材料相匹配,声速稍低于聚乙烯,在接触法检测时达到界面声传递耗损最小,声速差异可通过特定的延时补偿来消除。

[0056] 胶态楔块的具体配置方法,具体如以下步骤:将甘油和去离子水按1:2的比例混合,采用超声波振动乳化装置进行混合,配置成均匀的二元混合乳化液;保持超声波振动乳化装置运行,在乳化液中加入适量水玻璃、二氧化硅等纳米颗粒提高声速,加入苯氧乙醇作为防腐剂;超声波振动乳化装置继续运行,将乳化液加热至95℃,缓慢加入PVA-2699等高聚合度的聚乙烯醇进行混合,在95℃持续振动1小时,直至聚乙烯醇完全溶解;将混合液倒入楔块模具,一同放入真空脱气机去除气泡;将混合液冷却至室温形成凝胶化溶液,逐步进行干燥脱模,修剪表面。

[0057] 或者,通过楔块44和设置耦合剂补充装置组成超声耦合系统与电熔接头18形成耦合,耦合剂补充装置包括耦合剂补充口43、连接软管15、探头橡胶套45和充气筒46;充气筒

46连通连接软管15,连接软管15具一定的长度,在检测过程中可自由地弯转,连接软管15连通耦合剂补充口43,耦合剂补充口43连通楔块44内部,楔块44内部开设有水孔,楔块44底面有匀水槽;

通过推动充气筒46将其内部的耦合剂经过连接软管15、耦合剂补充口43输送到楔块44内部,耦合剂采用水,再通过水孔和匀水槽使水流在楔块44内部均匀分散,从而在楔块44与电熔接头18的壁面之间创建耦合水层,保障无气隙耦合的同时可降低摩擦,减小楔块的磨损。

[0058] 还需要特别指出的是,本发明实施例还采用一种专门的C扫描技术,轴向采用机械扫查结合电子扫描,周向采用机械扫查,系统记录位置信息和超声信息,经处理后形成实时扫查图像,自动扫查系统可实现投影扫描,使探头位置与缺陷在接头中的位置形成一一对应关系。

[0059] 显示与软件系统都由笔记本电脑实现,在自动超声波探伤系统中,系统软件起作神经中枢的作用,扫描装置的控制、超声波信号的采集、数据的存储与管理、扫描结果的分析与显示都要由软件来实现,因此软件功能稳定性可靠性等直接影响到检测的结果的准确性和可靠性。

[0060] 实施例2:

[0061] 请参阅图8-图16,在上述实施例的基础上,本发明实施例还提供了一种高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测方法,其采用高参数聚乙烯复合管电熔接头智能化超声检测系统,针对聚乙烯及其钢丝增强复合管道焊接接头中缺陷的起因复杂、种类多样、形状位置各异等缺陷评定难题,按缺陷类型、形状特征、密集程度等要素对实际缺陷进行了规则化处理,提出了缺陷表征方法。基于超声检测模式识别原理,建立了缺陷类型与超声图谱、缺陷几何参量和超声特征参数之间的对应关系,通过特征提取、特征优化及类型识别等步骤实现了缺陷的自动识别,开发了管道接头超声检测缺陷自动识别系统,实现了缺陷的准确识别。

[0062] 缺陷自动评定:根据标准+自动识别结果;

[0063] 聚焦方式,所述相控阵检测采用线扫和扇扫补充的方式进行扫描,使声场覆盖探头下方电阻丝区域;

图8-图9中,所述相控阵探头通过控制各个阵元激励和接收的时间延迟实现线扫,声场覆盖探头中间下方区域;各激发孔径中各个阵元的延迟时间根据聚焦位置$\mathrm{F}(x_f, z_f)$、激励阵元的中心位置$\mathrm{N}(x_n, z_n)$、以及电熔接头的表面折射点$\mathrm{I}(x_i, z_i)$进行计算;

$$T_n = \frac{\sqrt{(x_i-x_n)^2+(z_i-z_n)^2}}{c_w} + \frac{\sqrt{(x_f-x_i)^2+(z_f-z_i)^2}}{c_p};$$

其中,c_w为胶态楔块的声速,c_p为所述电熔接头的聚乙烯材料声速;

聚焦位置、激励阵元中心位置、电熔接头的表面折射点位置之间符合snell定律;

$$\frac{{c_P}^2\cdot(x_p-x_n)^2}{(x_p-x_n)^2+(z_p-z_n)^2} = \frac{{c_w}^2\cdot(x_f-x_p)^2}{(x_f-x_p)^2+(z_f-z_p)^2};$$

由于折射点I在电熔接头表面上,电熔接头的表面折射点I的x轴坐标x_i和z轴坐标z_i可通过相邻的电熔接头表面位置进行线性差值计算获得;

$\frac{z_{s1}-z_i}{x_{s1}-x_i}=\frac{z_i-z_{s2}}{x_i-x_{s2}}$;

其中,$S1(x_{s1},z_{s1})$与$S2(x_{s2},z_{s2})$为相邻的电熔接头表面位置。

[0064] 图10中,所述相控阵探头通过分别控制两侧阵元的激励和接收的延迟时间实现扇扫,声场覆盖探头两侧区域;扇扫采用深度聚焦方式,聚焦深度和上述线扫保持一致,扫描的间隔角度设置为1~3°之间;各阵元的延迟时间计算规则与线扫一致,根据聚焦位置、激励阵元位置、以及电熔接头的表面折射点位置计算。

[0065] 表面折射点计算流程:

[0066] 电熔接头的表面折射点位置可通过迭代计算获得,计算流程如图11所示:

步骤1,初始电熔接头的表面折射点x轴坐标x_{i1}为激励阵元的x轴坐标;

步骤2,通过线性插值相邻阵元对应的电熔接头表面z轴坐标,计算表面折射点z轴坐标z_i;

步骤3,将表面折射点z轴坐标z_i代入snell公式,求出电熔接头的表面折射点x轴坐标x_{i2};

步骤4,判断电熔接头的表面折射点x轴坐标x_{i1}与x_{i2}之间差值是否小于允许误差;若小于或等于误差,输出x_{i2}和z_i作为电熔接头的表面折射点坐标;反之,将x_{i2}代入x_{i1},重复步骤2、3、4,直至满足误差允许范围。

[0067] 电熔接头的表面位置通过所述相控阵探头进行表面检测获得,如图12;探头移动到某一轴向检测位置,探头在轴向上固定,进行表面检测;利用探头进行孔径为1(阵元)、步进为1(阵元)的电子线扫查,各阵元依次发射和接受声波,采集一次回波和二次回波的时间差t_s,以此获得各阵元中心与正下方电熔接头表面间距$z_s=\frac{t_s}{2}*c_w$;

将甘油和去离子水按1:2的比例混合,采用超声波振动乳化装置进行混合,配置成均匀的二元混合乳化液;所述超声波乳化装置的频率设置为20-40kHz,温度设置为25℃,乳化时间根据混合乳化液的量调整;乳化过程中,观察甘油和去离子水的混合状态变化情况,确保均匀乳化;

在乳化液中,加入适量水玻璃、二氧化硅等纳米颗粒提高声速,加入苯氧乙醇作为防腐剂,使用超声波振动乳化装置继续进行混合直至均匀;

将乳化液加热至95℃,开启电动搅拌器,缓慢加入PVA-2699等高聚合度的聚乙烯醇进行混合;保持95℃并持续搅拌1小时,直至聚乙烯醇完全溶解;将混合液倒入楔块模具,一同放入真空脱气机去除气泡;将混合液冷却至室温形成凝胶化溶液,逐步进行干燥脱模,修剪表面。

[0068] 聚乙烯管道电熔接头扇扫描的三维重构算法,通过检测数据在超声图像上的坐标转换成在电熔接头上的坐标而实现,如图13、图14、图15所示。

[0069] 超声图像的坐标系{A},以所述相控阵探头的中心为图像坐标系{A}原点O,阵列排布方向作为图像坐标系{A}的x轴,深度反方向作为图像坐标系{A}的z轴,则成像后图像中某点P在{A}中的位置可表示为${}^{A}P=(x_p,0,z_p)$;

电熔接头的坐标系{B},以所述电熔接头的端面圆心作为坐标系{B}原点O',塑料内胆中心轴为坐标系{B}的x轴,塑料内胆筒体截面为yz平面;采集到第n次步进、第m次旋转

的超声图像中点P在坐标系{B}中的位置是${}^{B}P = {}^{A}P * R + t$;

基于焊接面全覆盖并覆盖区域重复10%的原则,超声图像的轴向步进距离为δ,周向旋转步进角度为γ,本实施例采用逆时针旋转;

平移向量$t = (x_t, y_t, z_t) = (n\delta, -r \cdot \sin(m\gamma), r \cdot \cos(m\gamma))$表示超声图像坐标系{A}原点O在电熔接头坐标系{B}的位置,$n\delta$、$m\gamma$的位置通过编码器计算,r为电熔接头外表面的半径;坐标转换矩阵R表示为:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(m\gamma) & \sin(m\gamma) \\ 0 & -\sin(m\gamma) & \cos(m\gamma) \end{pmatrix};$$

聚乙烯管道电熔接头的缺陷识别主要包括以下三个部分:区域分割、信号特征提取、特征分类与识别;

1)区域分割:采用sobel算子对所有超声检测图像进行边缘检测,去除近场区和内外冷焊区,获得图像的焊接区域以判断焊接缺陷;

图16,在所有超声图像上,沿图像坐标系{A}z轴的负无穷方向,寻找第一条边界作为近场区分割线,以此分割掉近场区的杂波信号较强部分;在电熔接头两侧超声图像上,沿图像坐标系{A}x轴方向,寻找外冷焊区边界,分割外冷焊区;在电熔接头中间的超声图像上,沿图像坐标系{A}x轴方向,寻找内冷焊区边界,分割内冷焊区;

2)信号特征提取:在焊接区域中,sobel算子提取电阻丝、孔洞、熔合面等信号特征的强边缘,计算各个单独轮廓的重心、面积、Hu矩、傅里叶描述子;在上述强边缘的上方,利用canny算子提取特征线信号特征的弱边缘,计算弱边缘的重心、长度、Hu矩、傅里叶描述子;

3)特征分类:采用支持向量机SVM,对信号特征进行分类;

制作包含特征与标签的超声信号数据集,训练支持向量机;使用训练好的模型,分类边缘信号,获得电阻丝、孔洞、熔合面、特征线的识别结果;

4)缺陷识别:识别孔洞、熔合面缺陷、电阻丝错位、冷焊缺陷;

判断图像中是否存在孔洞、熔合面的信号类别,若存在,识别为孔洞缺陷、熔合面缺陷;计算图像中电阻丝信号的重心位置间距,统计水平间距、计算水平间距差,若水平间距差大于标准,识别为电阻丝水平错位缺陷,统计垂直间距,若垂直间距大于标准,识别为电阻丝垂直错位;计算特征线和电阻丝各点的垂直距离,统计平均垂直距离,若垂直距离小于标准,识别为冷焊缺陷。

[0070] 需要说明的是,尽管在本文中已经对上述各实施例进行了描述,但并非因此限制本发明的专利保护范围。因此,基于本发明的创新理念,对本文所述实施例进行的变更和修改,或利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构、等效流程或等效功能变换,直接或间接地将以上技术方案运用在其他相关的技术领域,均包括在本发明专利的保护范围之内。

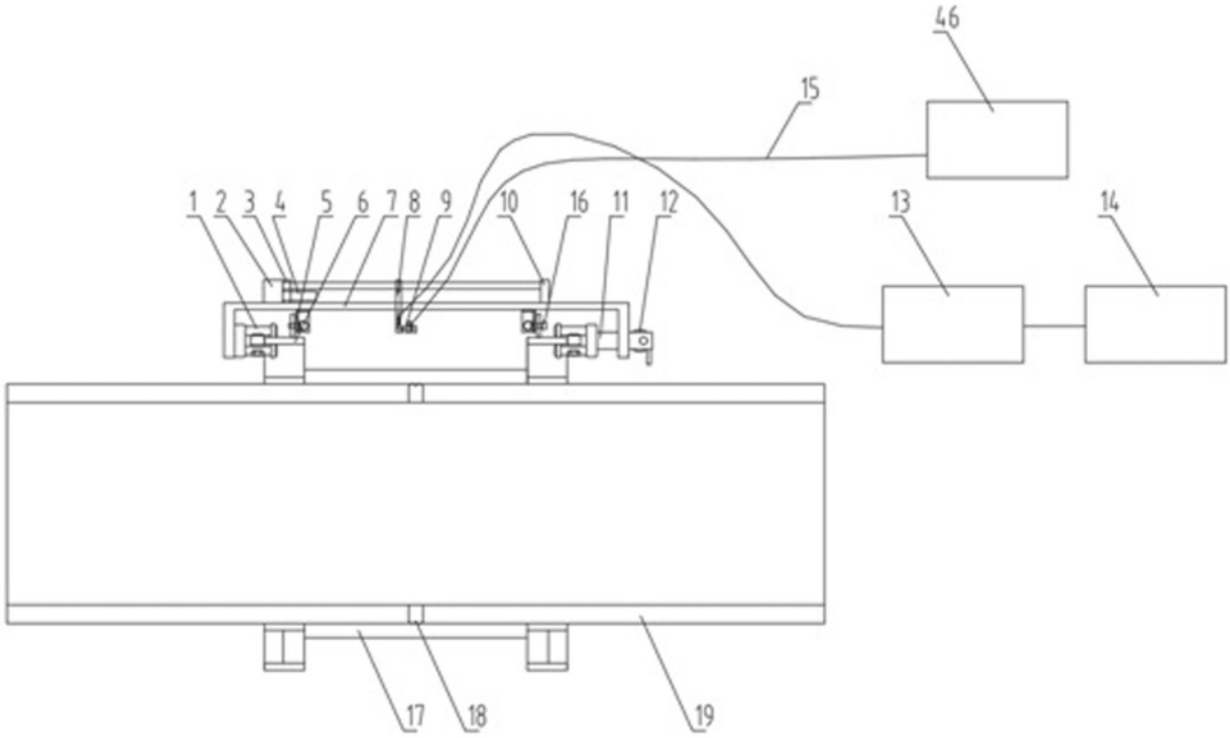


图 1

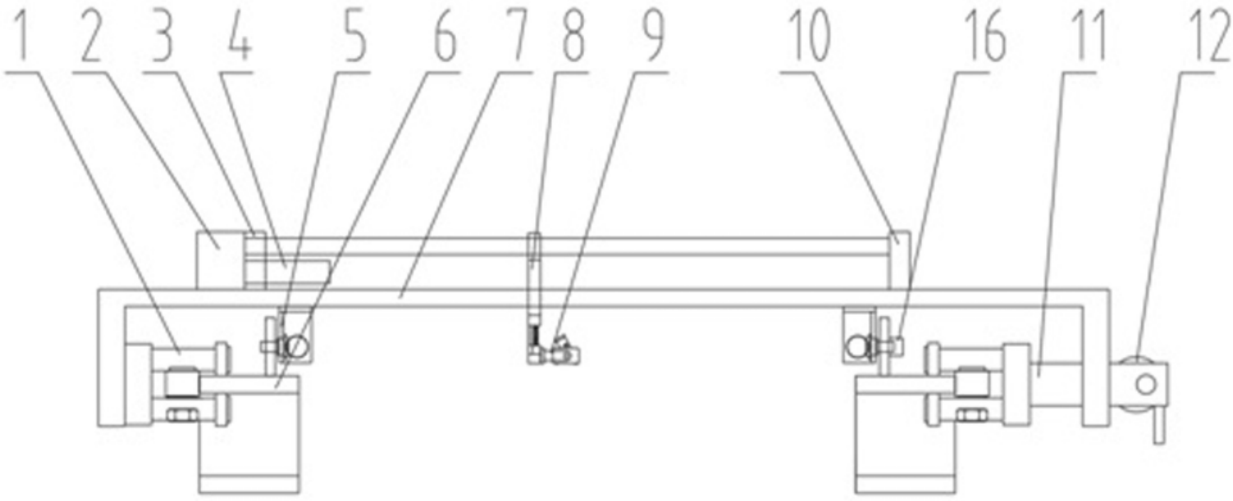


图 2

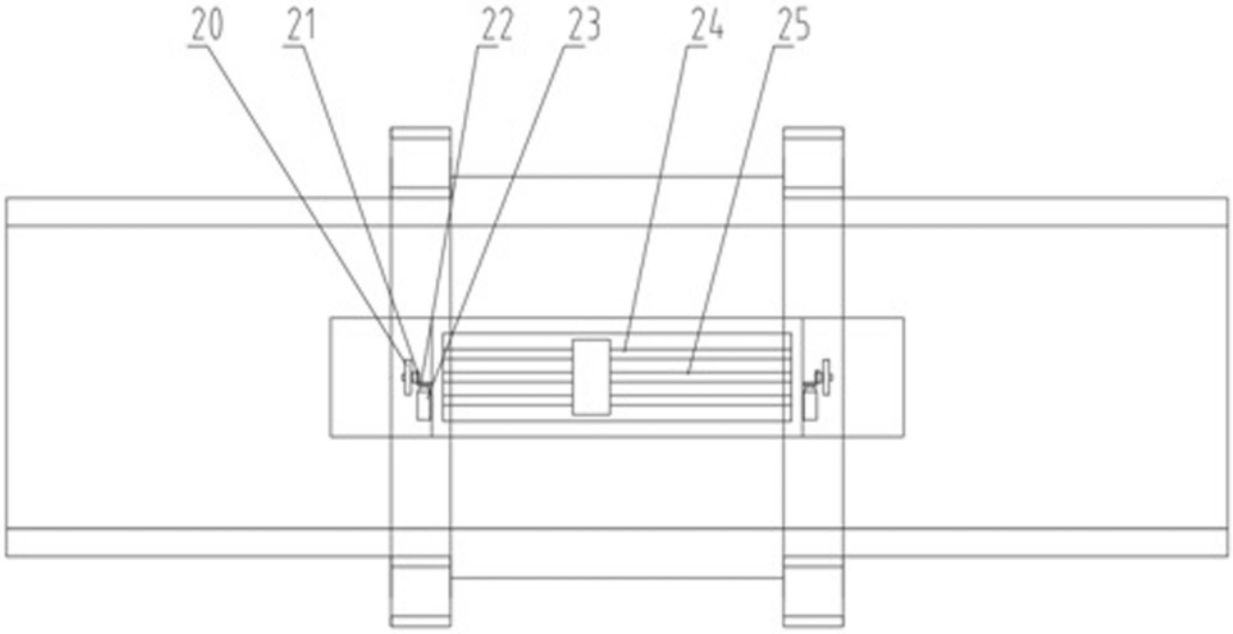


图 3

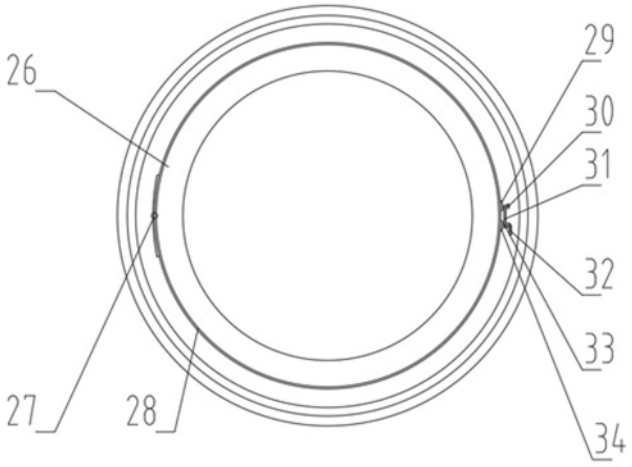


图 4

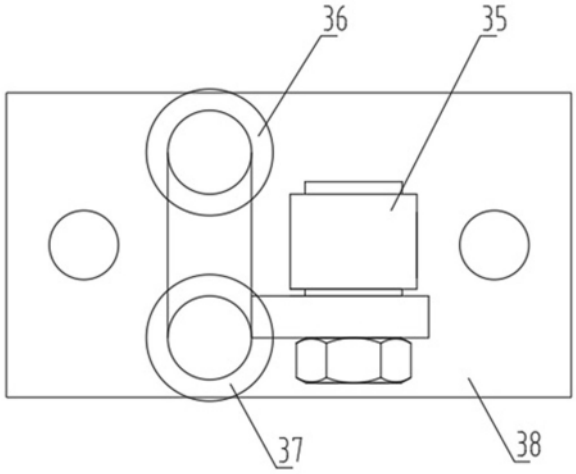


图 5

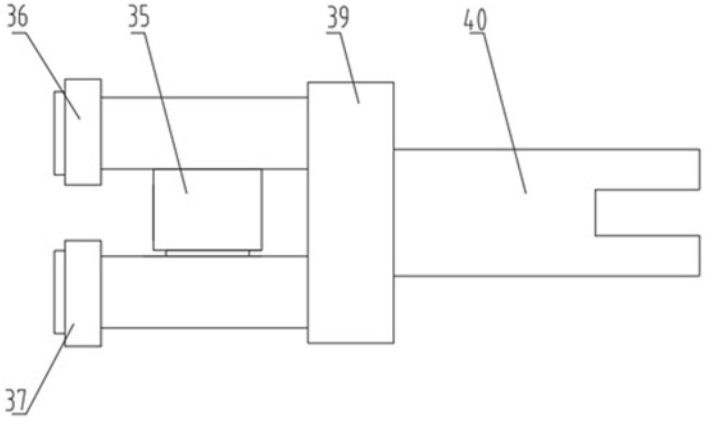


图 6

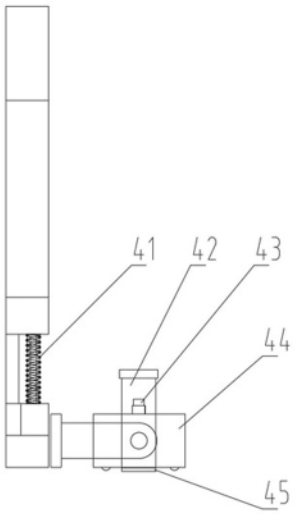


图 7

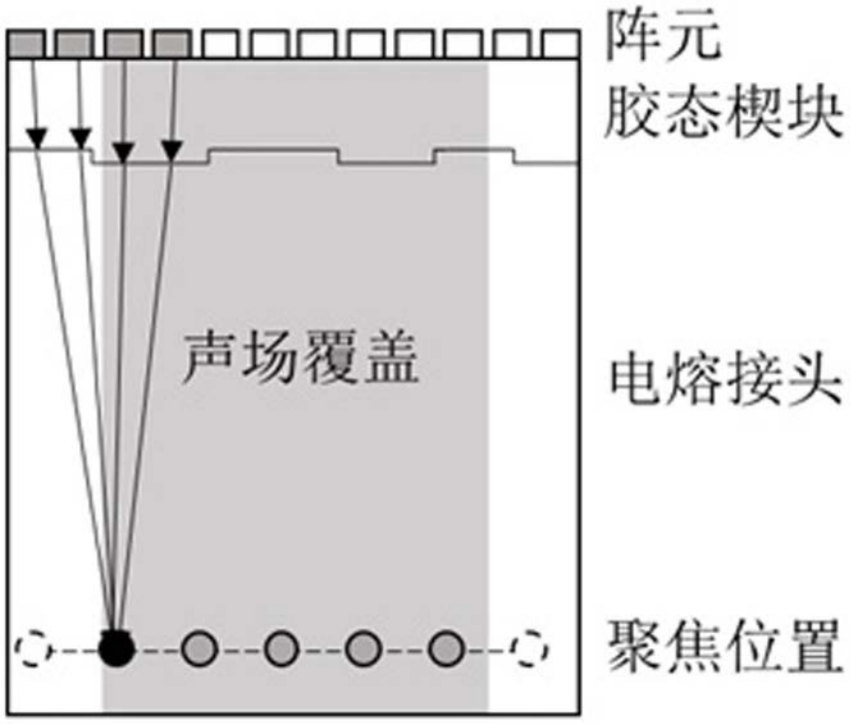

阵元
胶态楔块
声场覆盖
电熔接头
聚焦位置

图 8

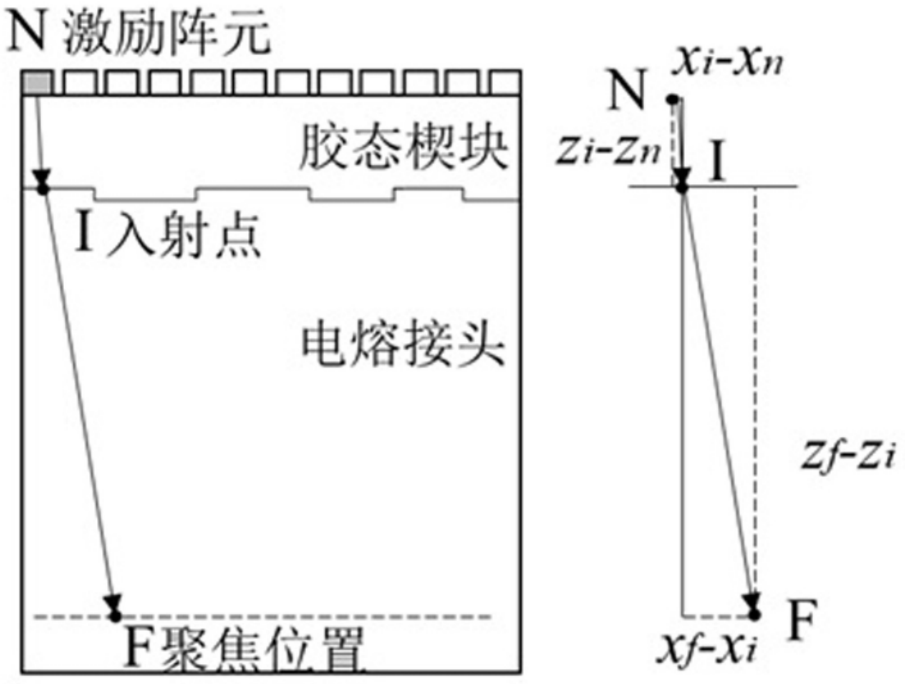

N 激励阵元
胶态楔块
I 入射点
电熔接头
F聚焦位置
N
I
F
xi-xn
zi-zn
zf-zi
xf-xi

图 9

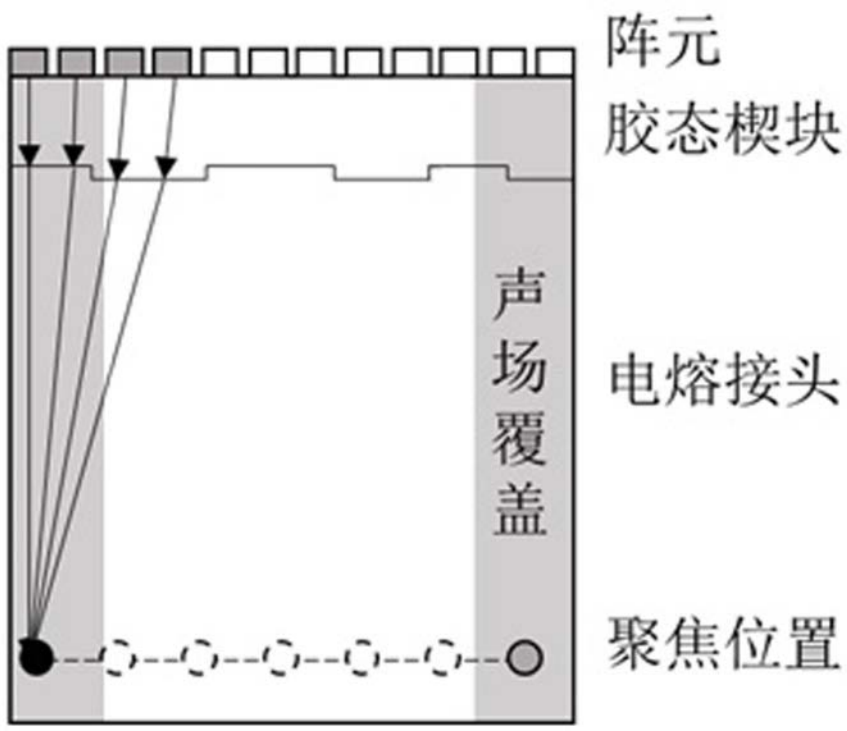

阵元
胶态楔块
声场覆盖
电熔接头
聚焦位置

图 10

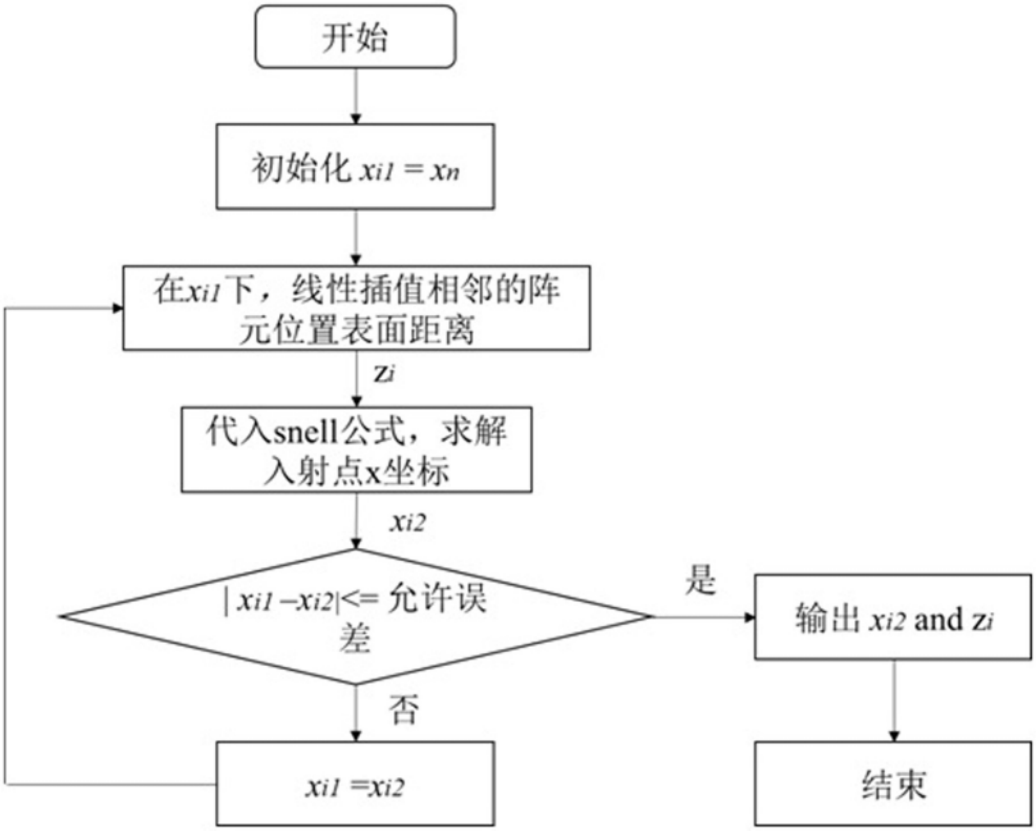

开始
初始化 xi1 = xn
在xi1下，线性插值相邻的阵元位置表面距离
zi
代入snell公式，求解入射点x坐标
xi2
| xi1 –xi2|<= 允许误差
是
输出 xi2 and zi
否
xi1 =xi2
结束

图 11

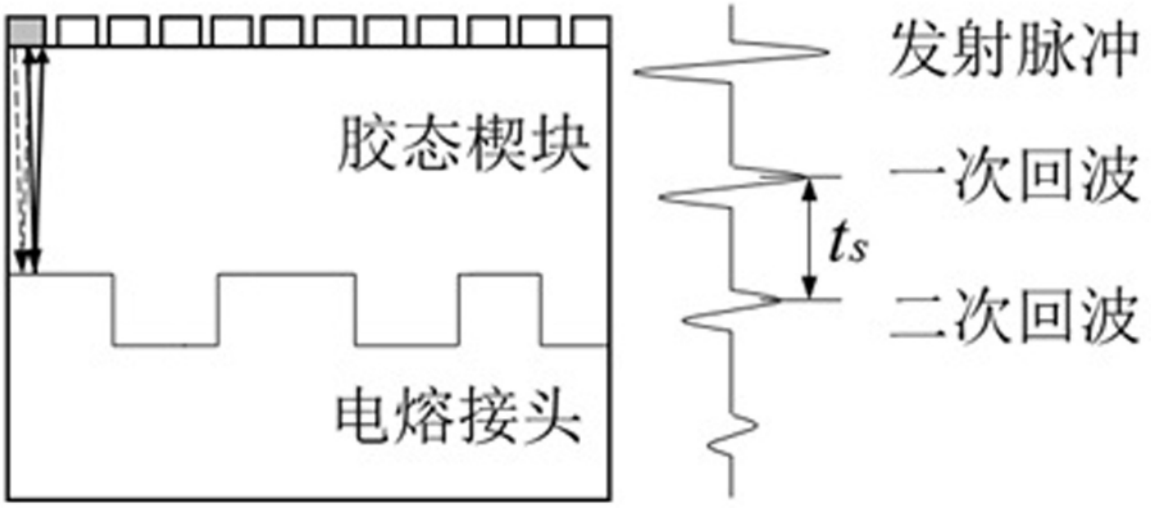


图 12

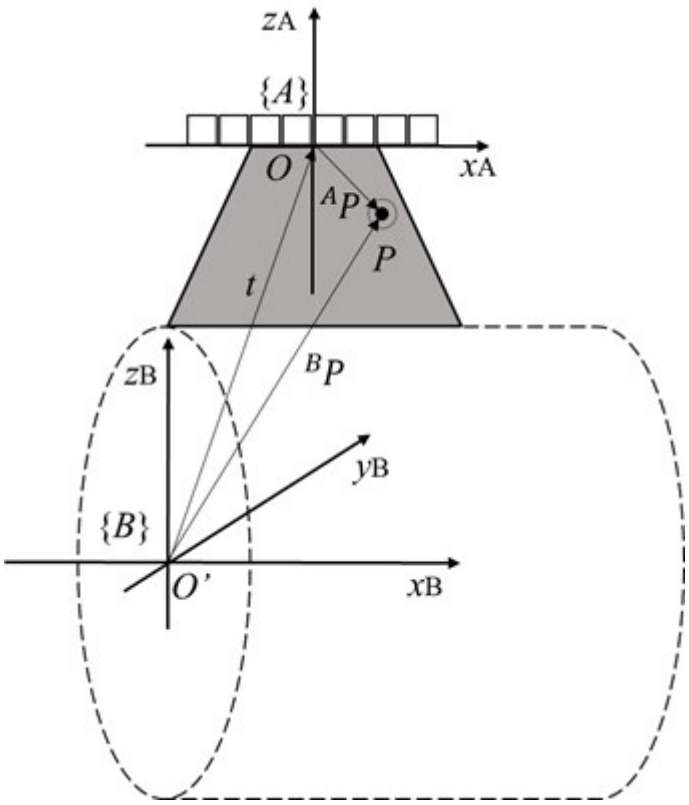


图 13

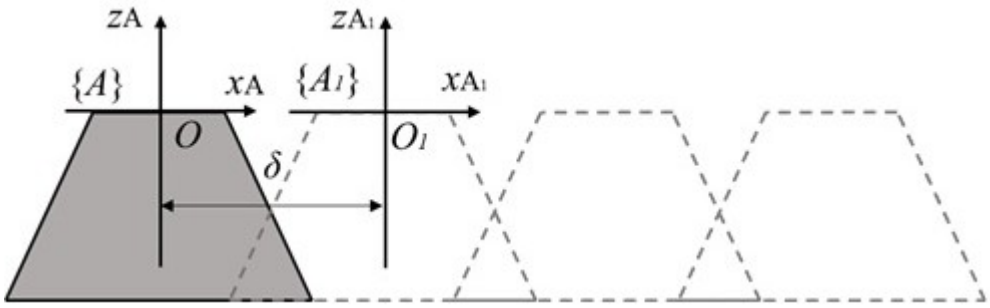


图 14

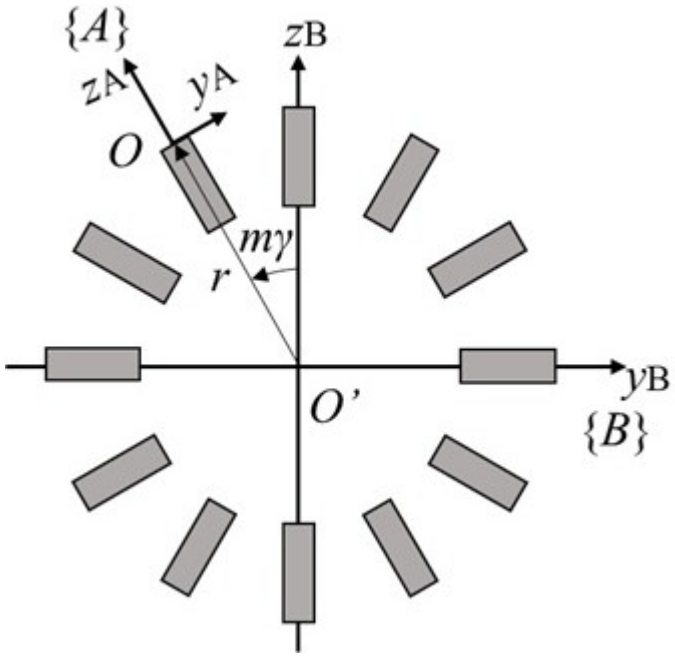


图 15

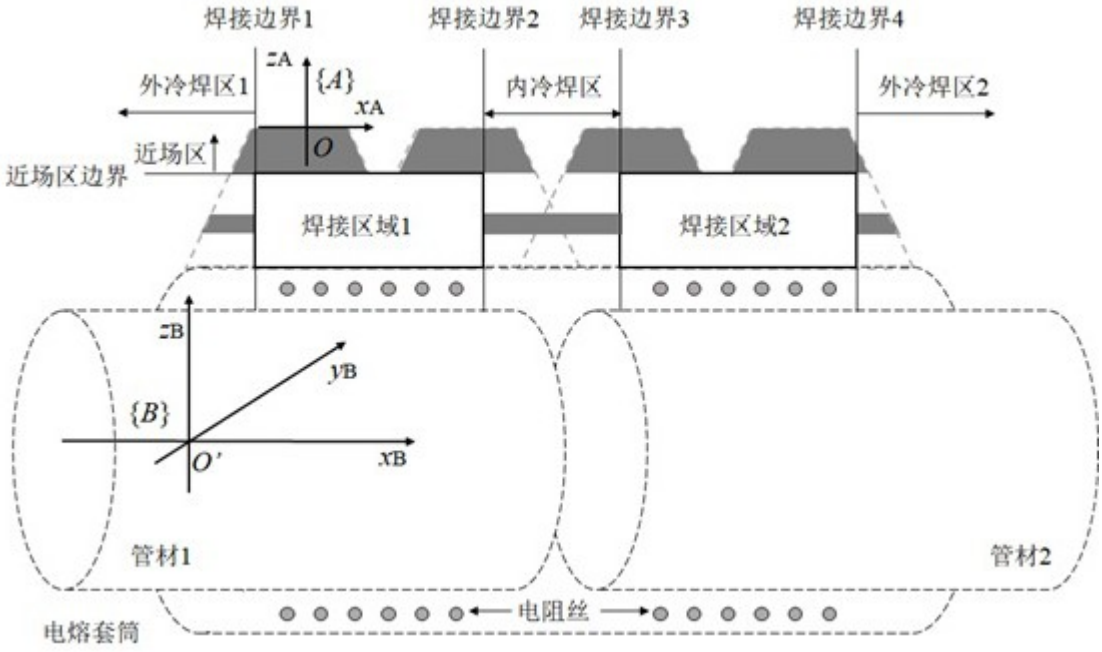

焊接边界1
焊接边界2
焊接边界3
焊接边界4
zA
{A}
xA
外冷焊区1
内冷焊区
外冷焊区2
近场区
O
近场区边界
焊接区域1
焊接区域2
zB
yB
{B}
O'
xB
管材1
管材2
电阻丝
电熔套筒

图 16