

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01N 29/06 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610009690.2

[43] 公开日 2007年8月15日

[11] 公开号 CN 101017155A

[22] 申请日 2006.2.7

[21] 申请号 200610009690.2

[71] 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街92号

[72] 发明人 欧进萍 单宝华 王 华 段忠东  
王 鑫

[74] 专利代理机构 哈尔滨市哈科专利事务所有限责任公司  
代理人 祖玉清

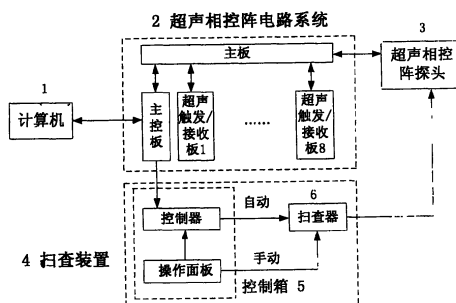
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

## [54] 发明名称

管节点焊缝超声相控阵检测成像系统

## [57] 摘要

本发明提供的是管节点焊缝超声相控阵检测成像系统。该系统由计算机、超声相控阵电路系统、扫查装置、相控阵探头和检测成像软件系统组成。该系统具有控制超声波发射接收、控制声束偏转聚焦、控制扫查器运动方式、采集缺陷信息和位置信息、重构缺陷图像以及提供检测报告的功能。该超声相控阵检测成像系统具有体积小、重量轻，携带方便，安装容易，参数设置灵活、操作简单等优点，可适用于支管壁厚16mm~26mm范围内管节点焊缝检测，适于产业化生产。



1、一种管节点焊缝超声相控阵检测成像系统，它包括计算机、超声相控阵电路、扫查装置、相控阵探头和检测成像软件；其特征是：计算机通过 USB 数据总线与超声相控阵电路相连，超声相控阵电路通过同轴电缆与超声相控阵探头相连，超声相控阵电路通过接插件与扫查装置的控制箱相连，超声相控阵探头安装在扫查器的探头夹上，检测成像软件安装在计算机上。

2、根据权利要求 1 所述的管节点焊缝超声相控阵检测成像系统，其特征是：计算机、检测成像软件及超声相控阵电路构成系统控制部分，根据检测需求，检测成像软件进行参数设置，由计算机给出指令，超声相控阵电路给出控制信号。

3、根据权利要求 1 所述的管节点焊缝超声相控阵检测成像系统，其特征是：扫查装置由扫查器和电气控制系统组成，扫查装置和超声相控阵探头构成系统扫查部分，操作面板和控制器组成一个部分，安装于扫查器的控制箱内，携带超声相控阵探头的扫查器机械本体部分安装在被检管节点的支管上。

4、根据权利要求 1 所述的管节点焊缝超声相控阵检测成像系统，其特征是：超声相控阵探头为工作频率 5MHz，64 阵元的线阵，由换能器、壳体、电缆及其附件组成。

5、根据权利要求 1 所述的管节点焊缝超声相控阵检测成像系统，其特征是：超声相控阵电路由一块主板、一块主控板和八块超声触发/接收板组成，主板上 10 个插槽，主控板和八块超声触发/接收板分别接插在主板上，超声相控阵探头使用同轴电缆通过连接器和主板，分别与八块超声触发/接收板相连。

6、根据权利要求 1 所述的管节点焊缝超声相控阵检测成像系统，其特征是：扫查器为沿轨道的运动、垂直于轨道的运动和两个摆动运动的四自由度机器人，由行走小车、伸缩探头架、柔性轨道和摆动头组成。

7、根据权利要求 3 所述的管节点焊缝超声相控阵检测成像系统，其特征是：扫查器电控系统组成包括安装于扫查器机械本体上的直流电机及其同轴旋转编码器和电气控制箱两个部分。

8、根据权利要求 1 所述的管节点焊缝超声相控阵检测成像系统，其特征是：检测成像软件是客户端/服务器模式的软件系统，包括调试

---

模块、项目管理、控制模块、图象显示、缺陷分析和硬件驱动，调试模块由方案界面、参数界面、波形选择界面和波形界面组成。

## 管节点焊缝超声相控阵检测成像系统

### (一) 技术领域

本发明涉及的是一种超声检测成像装置。具体地说是一种用于管节点焊缝无损探伤的超声相控阵检测成像系统。

### (二) 背景技术

海洋平台结构处于海水环境，长期承受波浪、风暴潮与海流等疲劳载荷的影响，船舶碰撞、直升机起落与地震或海啸的冲击。这些因素共同作用将导致海洋平台结构产生疲劳破坏、脆性断裂、腐蚀减薄与静动负载失稳等现象，其中管节点焊缝是缺陷最易产生的部位。由于管节点焊缝形式复杂，其焊缝截面的形状随着其相贯线上的位置不同而发生变化，加之主管的壁厚较大，难以用射线照相法进行，目前国内外主要采用单探头超声波手工探伤方法进行检验。因此许多因素取决于探伤人员的经验和技能，从重复性和可靠性来看存在问题。而且在海洋平台结构管节点焊缝手工超声探伤中，存在探测不到的“死区”。“死区”大小与探头的折射角有关，折射角增大，“死区”1区变小2区变大。因此采用不同折射角探头可以减少“死区”面积，但普通单探头做不到角度的转变；且传统超声检测系统只能给出缺陷信号的A扫描波形，不能直观显示缺陷图像，不利于对缺陷进行定量分析。

而超声相控阵技术本身就可以通过电子方法控制声束的偏转和聚焦，采用一个超声相控阵探头即可以发射多种不同角度的声束，配置机械扫查装置，大大减少了扫描行走时间，简化了扫描模式，且能实时成像，非常适用于海洋平台结构复杂管节点形式检测的需求。由于相控阵阵元的延迟时间可动态改变，所以使用超声相控阵技术探伤主要是利用它的两大特点：声束偏转和动态聚焦。由于实现了超声波声束角度、焦距、焦点尺寸的控制，与常规超声波检测技术相比，超声相控阵检测技术具有如下优点：实现了复杂结构和盲区位置缺陷的检测；可实现高速电子扫描；配置机械夹具，可对试件进行高速、全方位、多角度检测；在分辨力、信噪比、缺陷检出率等方面具有一定的优越性。从90年代起超声相控阵技术已广泛地应用于核工业、航空航天工业、石油化工及土木工程等工业领域无损检测。

### (三) 发明内容

本发明的目的在于提供一种工作效率高，能减少管节点焊缝检测

“死区”存在的面积，检测精确性、重现性及检测结果的可靠性高，能增强检测的实时性和直观性的管节点焊缝超声相控阵检测成像系统。

本发明的目的是这样实现的：它包括计算机、超声相控阵电路、扫查装置、相控阵探头和检测成像软件；计算机通过 USB 数据总线与超声相控阵电路相连，超声相控阵电路通过同轴电缆与超声相控阵探头相连，超声相控阵电路通过接插件与扫查装置的控制箱相连，超声相控阵探头安装在扫查器的探头夹上，检测成像软件安装在计算机上。

本发明还可以包括这样一些特征：

1、计算机、检测成像软件及超声相控阵电路构成系统控制部分，根据检测需求，检测成像软件进行参数设置，由计算机给出指令，超声相控阵电路给出控制信号。

2、扫查装置由扫查器和电气控制系统组成，扫查装置和超声相控阵探头构成系统扫查部分，操作面板和控制器组成一个部分，安装于扫查器的控制箱内，携带超声相控阵探头的扫查器机械本体部分安装在被检管节点的支管上。

3、超声相控阵探头为工作频率 5MHz，64 阵元的线阵，由换能器、壳体、电缆及其附件组成。

4、超声相控阵电路由一块主板、一块主控板和八块超声触发/接收板组成，主板上 10 个插槽，主控板和八块超声触发/接收板分别接插在主板上，超声相控阵探头使用同轴电缆通过连接器和主板，分别与八块超声触发/接收板相连。

5、扫查器为沿轨道的运动、垂直于轨道的运动和两个摆动运动的四自由度机器人，由行走小车、伸缩探头架、柔性轨道和摆动头组成。

6、扫查器电控系统组成包括安装于扫查器机械本体上的直流电机及其同轴旋转编码器和电气控制箱两个部分。

7、检测成像软件是客户端/服务器模式的软件系统，包括调试模块、项目管理、控制模块、图象显示、缺陷分析和硬件驱动，调试模块由方案界面、参数界面、波形选择界面和波形界面组成。

软件系统能够调用检测项目察看数据，可以生成新的检测方案和检测项目进行检查，能给出缺陷图像的四种显示方式，并可进行缺陷分析，自动生成缺陷报告。

检测成像软件建立了管节点检测算法模型，在参数界面，输入状态参数、检测参数、楔块参数、声束参数、探头参数以及扫查设置等信息项，就可调出检测方案，发射声束，控制各阵元的延迟时间、阵

元组合、增益、声程和闸门宽度。

与传统超声检测仪器相比较，管节点焊缝超声相控阵检测成像系统具有以下优点：

1) 使用扫查器携带超声相控阵探头检测管节点焊缝，可大大提高工作效率，大量地节省了检测时间和费用。

2) 采用一个超声相控阵探头发射多种不同角度的声束，实现了声束的偏转和动态聚焦，满足了复杂管节点焊缝超声检测的需求，减少了管节点焊缝检测“死区”存在的面积。

3) 与传统超声检测仪器相比，检测的精确性、重现性及检测结果的可靠性得到提高，检测的实时性和直观性得到了增强。

4) 可提供直观可视的扫描图像，利于缺陷分析定性。

5) 传统的检测技术对检测人员的素质要求很高，水下检测人员需具备潜水员与检测员双重资格，然而我国这类人才十分缺乏。海洋平台结构超声相控阵检测成像系统对探头的操作不敏感且不需要校准，对检测人员的要求大大降低，只需对非无损检测专业的潜水人员进行适当培训即可。

下表列出了 管节点焊缝超声相控阵检测成像系统性能指标

通道数	64
工作频率	5MHz
发射电压	50V
工作电压	220V
总增益	60-80dB
动态范围	60dB
延时精度	1ns
脉冲延时范围	0us ~ 65 us
接收延时范围	0us ~ 16000 us
A/D 采样频率	62.5MHz
信号放大带宽	650kHz ~ 20 MHz
最大脉冲重复频率	2KHz
适宜工作范围	- 20℃ ~ 50℃
适用检测壁厚	16mm ~ 26mm

其中相控阵电路系统延迟精度 1ns，达到了国际先进水平；超声相控阵探头性能达到了国际同类产品水平。

(四) 附图说明

图 1 管节点焊缝超声相控阵检测成像系统结构图；

图2 管节点焊缝超声相控阵检测成像系统实施图。

#### (五) 具体实施方案

下面结合附图举例对本发明做更详细的描述：

结合图1，管节点焊缝超声相控阵检测成像系统包括计算机1，超声相控阵电路系统2，超声相控阵探头3和扫查装置4。计算机1通过USB数据总线与超声相控阵电路系统2相连，超声相控阵电路系统2通过同轴电缆与超声相控阵探头3相连，超声相控阵电路系统2通过接插件与扫查装置4的控制箱5相连，超声相控阵探头3安装在扫查器4上，检测成像软件安装在计算机1上。

检测成像软件建立了管节点检测算法模型，在参数界面，输入状态参数、检测参数、楔块参数、声束参数、探头参数以及扫查设置等信息项，就可调出检测方案，发射声束，控制各阵元的延迟时间、阵元组合、增益、声程和闸门宽度。

超声相控阵探头3为工作频率5MHz，64阵元的线阵，由换能器、壳体、电缆及其附件组成，防水、耐压，用水作耦合剂。根据管节点检测算法控制要求可以选择阵元，改变阵元发射延迟时间、接收延迟时间、发射允许和接收允许。

超声相控阵电路系统2由一块主板、一块主控板和八块超声触发/接收板组成。

主板是由10个插槽组成，其中9个插槽用来接插8块触发/发射板和主控制板，右边第一个插槽用来接插超声相控阵探头。

主控板主要完成配制检测算法各超声触发/接收板的配制方案；产生各超声触发/接收板的同步信号；实现扫查器控制，包括行走速度，行走方向和行走使能控制，可以实现多种行走速度。

8块超声触发/接收板具有相同的电路功能，每块超声触发/接收板能实现8路信号的触发和回波信号的采集。超声触发/接收板主要完成超声阵元的触发和超声回波信号的调理和采集工作。在该系统中，采用独特的阵元触发方案，使在相同条件下，可将超声强度提高约35%。

在超声相控阵电路系统2中，各阵元回波信号的波形采用硬-软延迟技术，降低系统硬件复杂程度，提高信号处理的灵活性。利用硬-软延迟技术，该系统实现步进1ns的信号接收延迟精度。可实现相邻32阵元的独立超声脉冲触发和独立超声信号接收。

扫查装置4由扫查器6和电气控制系统组成。

扫查器6为四自由度机器人，即沿轨道的运动、垂直于轨道的运动和两个摆动运动。扫查器由行走小车、伸缩探头架、柔性轨道和摆动头组成。除特殊要求外，扫查器的机加件和部分标准件材料均为不

锈钢，可防水。工作时，柔性轨道由磁力座吸附和紧限器封闭装夹于被检管节点支管表面上，用扫查器夹住相控阵探头，使探头完全浸没在水里，用楔块调整相控阵探头的方向、仰角、水平位置和纵向距离。

扫查器电控系统实现管节点焊缝超声检测过程超声探头的位置控制，其系统组成主要包括安装于扫查器机械本体上的直流电机及其同轴旋转编码器和电气控制箱 5 两个部分。

检测成像软件是一个客户端/服务器模式的软件系统，该软件系统能够调用检测项目察看数据，可以生成新的检测方案和检测项目进行检查，能给出缺陷图像的四种显示方式，并可进行缺陷分析，自动生成缺陷报告。该软件系统包括调试模块、项目管理、控制模块、图象显示、缺陷分析和硬件驱动，调试模块由方案界面、参数界面、波形选择界面和波形界面组成，调试模块的主要功能是管理检测算法调试过程中的所有方案，以备控制模块调用。项目管理模块的主要功能是调用数据库中的以往的检测项目查看数据或生成新的检测项目以便在控制界面进行方案检测。控制模块的主要功能是调用调试界面生成的检测方案，根据现有检测项目需要，输入检测参数，开始新项目的检测扫查。图像显示模块的主要功能是显示控制界面检测记录的扫查结果。缺陷分析模块的主要功能是对 C 扫描和 D 扫描图像中的缺陷大小进行测量，判断其是否合格。

结合图 2，计算机 1、检测成像软件及超声相控阵电路系统 2 形成系统控制部分。根据检测需求，检测成像软件进行参数设置，由计算机 1 给出指令，超声相控阵电路系统 2 给出控制信号。控制箱 5、扫查器 6 和超声相控阵探头 3 形成系统扫查部分，扫查器 6 接收行走指令携带超声相控阵探头 3 在被检管节点的支管 7 上进行扫查。

管节点焊缝检测之前，首先将扫查器轨道安装在管节点模型支管 7 外壁的合适位置上，调整轨道方向使其与支管周向平面平行，并用固定间距的双排磁力座将轨道吸附在支管壁上，使其牢固；接着从轨道一侧安装爬行小车，调整爬行小车姿态使其能正常行走，然后再在轨道两端装上限位装置，确保爬行小车安全行走，不跑出轨道，最后用锁链将轨道锁紧，以确保轨道不会由于扫查器重量作用而发生突然脱落现象，避免损坏扫查器。轨道锁紧后开始安装扫查器的机械本体结构，首先在爬行小车上安装伸缩架，接着将摆动头安装在伸缩架前端，并将探头夹固定在摆动头上，使探头夹夹紧相控阵探头，通过楔块来调整相控阵探头与管节点焊缝的水平距离、纵向间隙以及探头仰角，使其达到管节点焊缝检测算法要求，然后根据检测位置调整摆动头偏



转角度，使探头垂直于管节点焊缝，探头位置调整完毕后即可操作检测成像软件开始缺陷探伤。

然后检测人员操作检测成像软件，在项目管理模块建立一个新项目，输入括工程名称、业主、检测公司、节点编号、节点形状、节点夹角等项目信息。然后在控制模块调用调试界面生成的检测方案，根据新建检测项目需要，输入铺设轨道、检测次数、扫查方式、电机方向、扫查长度和帧厚度等检测参数，开始新项目的检测。检测人员操作软件发出扫查指令，计算机 1 即将检测方案配置给相控阵电路系统 2，相控阵电路系统 2 根据检测方案产生超声波信号，控制声束的偏转和聚焦，同时给扫查器 6 发出行走指令，并接收超声回波信号，将数据传通过 USB 数据总线送给计算机存入数据库。扫查结束后点击图像显示模块，即可调出本次项目检测的结果，缺陷图像以 A、B、C、D 四种扫描图像显示方式，点击 C 扫描或 D 扫描图像中某处，就可调出相应扫查位置处的 B 扫描图像以及在此位置的所有 A 扫描曲线。然后点击缺陷分析模块，根据管节点焊缝检测标准，即可对 C 扫描和 D 扫描图像中缺陷的大小进行测量，并根据检测标准判断其是否合格，然后系统自动生成缺陷报告，并可保存打印。

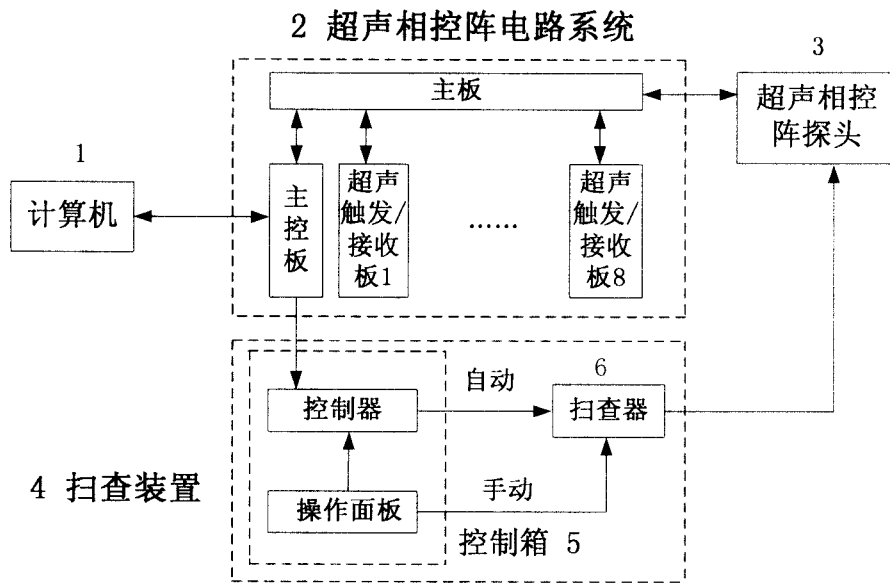


图 1

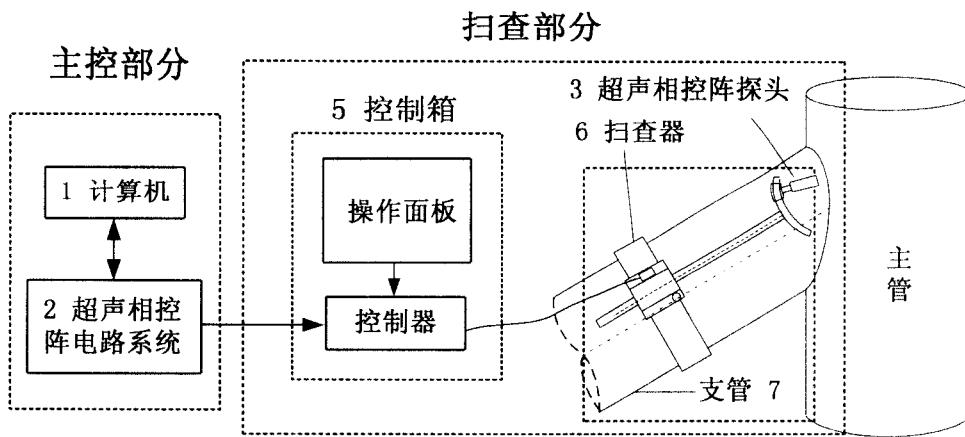


图 2