

一种行走式可变形履带钢结构超声波无损检测机器人的新型设计

王 圳

上海建工二建集团, 上海 200080

[摘要]文中首先阐述了研发一款可自行行走的钢结构超声波无损检测探伤机器人的工程背景。然后依次介绍了这款探测机器人所用到的物理理论知识, 和应用技术背景知识。阐述了设计该款机器人的思路 and 结构组成。其中, 重点阐述了主体结构、局部构造、可变形履带的行进模式、示教部分、内部控制系统, 以及该型无损机器人的内部控制结构框图。此外, 还分析该型机器人的特点和创新点。最后交代了该型机器人的工作流程, 并做出结论与展望。

[关键词]钢结构检测; 可变形履带; 超声波无损检测; 机器人

DOI: 10.33142/ect.v3i4.16121

中图分类号: TS652

文献标识码: A

A Novel Design of a Walking Deformable Tracked Ultrasonic Non-destructive Testing Robot for Steel Structures

WANG Zhen

Shanghai Construction No. 2 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200080, China

Abstract: The article first elaborates on the engineering background of developing a self-propelled ultrasonic non-destructive testing robot for steel structures. Then, the basic knowledge of physics theory and application technology background used in this detection robot were introduced in sequence. Elaborated on the design concept and structural composition of this robot. Among them, the main structure, local construction, the walking mode of the deformable track, the teaching part, the internal control system, and the internal control structure diagram of this type of non-destructive robot are emphasized. In addition, the characteristics and innovative points of this type of robot are also analyzed. Finally, the workflow of this type of robot was explained, and conclusions and prospects were drawn.

Keywords: steel structure testing; deformable track; ultrasonic non-destructive testing; robot

引言

随着建造技术和材料性能的提升;越来越多的新颖的钢结构建筑出现在生活中。建筑设计上的突破;带来了结构设计上的精细;以及现场施工时的难度。在很多特殊或极端施工条件下;比如常见的高空施工;不仅危险;同时施工难度大。

目前工程中实际用到的钢结构缺陷及焊接焊缝质量检测还依赖于人工操作的钢结构超声波无损检测仪器,因此还有很多改进的空间:比如:钢结构焊接及功能性结构缺陷的超声波检测还依赖人工手持式的超声波检测工具;在超声波扫描完成之后,出超声波检测图的时间过长。无法做到及时出图。需要甄别和再处理;尚有一款适用于钢结构立面和高空行走的可移动式钢结构无损检测机器人,并真正实现远距离操控;无损检测机器人应较为轻巧,使其能跨越一些障碍和凹凸的表面;更多类型及先进的智能传感器(如视觉传感器),尚未完全成熟地引入到钢结构无损检测机器人中。因此,设计了一种新型的特别适用于高空钢结构上行走的,具有电磁控铁贴片履带的,基于远程遥控和超声波探伤技术的可自行行走的焊缝检测机器人。整个机器人的传动采用电力传动,用电力电子器件的弱电系统控制行进系统的运动和焊接机具的工作,并用电

能变换装置控制电机的运行^[1]。工作履带的磁力吸附采用了电气控制系统中最常见的电磁式电器,当轮上凸起嵌入履带中时,完成电磁机构电路的闭合,产生使机器人通过履带吸附在钢结构上的磁力^[2]。机器人的行进和探测的控制都是由嵌入式系统完成^[3]。机器人工作主体需要加装视觉传感器^[4]和控制探测设备移动的机械臂^[5]。

1 理论基础与技术背景

1.1 理论基础

波分为电磁波(如无线电波、X射线、可见光等)和机械波(如声波、水波等)。声波的本质是机械振动在弹性介质中传导形成的机械波。超声波是由机械振动源在弹性介质中激发的一种机械振动波,其实质是以应力波的形式传递能量。其必要条件是要有振动源和能传递机械振动的弹性介质,它能透入物体内部并可以在物体中传播。频率高于20Hz的机械振动称为超声波。

就目前的无损检测技术(NDT: non-destructive testing)而言,涉及的物理学基础包括:声、光、热、电、磁、电磁、机械、放射线辐射、物理化学、粒子束、高能物理等,及其某些组合。焊缝检验主要由破坏性检验和无损检验。在实际钢结构工程中宜选用无损检测手段。无损检测主要包括外观检验、密封检验、耐压实验、渗透

探伤等。其中，超声波无损检测是最合适的。

超声波检测(UT)是利用超声波在物体中的多种传播特性(如反射、透射、折射、衍射、散射、干涉、衰减、谐振、声速变化等)来测量物体的几何尺寸、探测物体表面与缺陷的大小与位置、判断材料的显微组织变化等。超声波在检测中最主要是利用的压电材料:单晶体的压电效应和多晶体的电致伸缩效应来产生和接收超声波。

发射超声波时,发射探头中的压电晶片在发射电脉冲的作用下做强迫振动,产生超声波。同时,又在阻尼块的影响下做阻尼振动,超声波脉冲宽度变窄。电脉冲的频率与晶片的固有频率越接近,晶片的电声转换效率越高。超声检测用探头的固有频率各不相同,为了能使超声波检测仪器与不通用频率的发射探头相匹配,达到最佳声电转换频率,发射探头所连接的发射电路所产生的发射电脉冲信号必须有很宽的频带。

1.2 技术背景

随着钢结构在全生命周期内服役的时间越来越长,焊接技术在钢构件连接时越发重要。有必要对各类钢结构的内部(焊接)缺陷进行检测。因此,制作一款可实现远程遥控的行走式超声波无损检测机器人就显得尤为必要。

钢结构的相关不连续性与超声波的回波特性相关。因此,工程中的钢结构缺陷宜采用A显示脉冲波检测技术,分为反射法和穿透法,具体分为:方法一:脉冲反射法接触斜束横波检测。这是应用最普遍的检测技术,可发现焊缝中的多数不连续性;方法二:脉冲穿透接触斜束横波检测——串列检测。该方法主要用于大厚度、窄间隙焊缝中的垂直于表面的不连续性的检测;方法三:脉冲反射法接触直束纵波检测。对于对接焊缝,直束纵波检测可用于测量母材的厚度和检测母材的不连续性。当加强高打磨平时,也可检测接头的不连续性;对于T形接头、管座焊缝等可检测焊缝不连续性;方法四:脉冲反射法接触斜束纵波检测。在奥氏体焊缝的超声波检测中,由于横波的衰减很严重、信噪比低,尤其当焊缝厚度较大时,横波检测很困难,需要使用斜束波检测。

常规的工业机器人是一种在计算机控制下的可编程的自动机器。该型钢结构机器人可视为是现有无损检测技术集成在一款工业机器人上,并同时给这款无损检测机器人加装了一个可实现障碍物跨越和钢结构磁力吸附的高支架式履带。

2 设计方案

2.1 设计思路

因此,需要将工程现场使用的人为操作的超声波无损检测仪器,首先加装到机械臂式的工业机器人上,并且通过加装高支架的电磁铁贴片的履带来完成行走装置的制作。因为是用于钢结构缺陷或焊缝的无损检测,尤其要涉及高空行走来取代人为吊篮或登高车等高空作业模式,将

工人从危险的高空作业中解放出来。因此,特意设计了一个可吸附在钢结构上的电磁铁履带。该履带由一片一片的电磁铁贴片组合而成,并且连接到一个可以控制每一横排电磁铁片是否通电的控制器。通过行走时前端的电磁铁片通电,后端的电磁铁片断电,来给履带变换电磁场,从而保证在电磁铁片矩阵吸附钢构件的同时完成行走的动作。同时,行走的车载平台上安装了超声波无损检测仪器,并可通过信号操控工作臂主要完成钢结构表面扫描等动作。

2.2 结构组成

整个新型的可变形履带式行走式钢结构(含焊缝)超声波无损检测机器人的主体结构主要由以下几部分组成:第一、采用视觉传感器跟踪系统,可实现超声波无损检测机器人对钢结构表面状态的实时观察和记录。在智能化升级的过程中,可通过选择性加装其他接近觉传感器(电涡流、光电、超声波式等三种可选,并配合PC控制主机及相应AI程序)实现自主微调;第二,行走机构:行走机构采用可变形的非等边三角形行走的履带机构。底盘两侧履带架分别连接导向轮(前)和驱动轮(后),履带架中连接有主臂杆,主臂杆通过曲臂连接行星轮。导向轮、驱动轮,和行星轮共同支撑起履带。左右两侧后方的驱动轮各自连接着一台电动机。通过控制电动机的转速控制焊接机器人的行进和转向;第三,主体机械结构:超声波无损检测机器人的主体机械机构包括连接行走机构的底盘、机械臂、超声波发射和接收装置、图像成像装置,以及其他配套机械构件;第四,超声波检测机器人工作机构:机器人控制箱、工业机器人的多自由度机械手臂、机器人用电池、超声波发射与接收用电池、图像生成仪、超声波检测控制器、示教控制器、电缆等;第五、行进动力、机器人自身动力、焊接能源:驱动轮连接的电动机用充电电池、机器人自身系统的动力充电电池、焊接电源蓄电池;第六、传感器系统。它包括内传感器和外传感器系统。内传感器系统宜包括:位置、角度传感器,速度、角速度加速器,加速度传感器。外传感器系统至少应包括接近觉传感器和机器人视觉传感器系统。

3 新型自行走钢结构无损检测机器人

3.1 主体结构

目前,钢结构无损超声波检测机器人的基本工作原理也应该类似于通用工业机器人实际操作过程中的“示教”“再现”和“可编程”。“示教”就是机器人学习的过程。在这个过程中,操作者需要利用示教器(或在计算机的控制软件的界面上手动拖动)来操纵机器人执行某些动作。而机器人的控制系统会以程序的形式将其记忆下来,然后将程序输入给机器人控制器。而机器人控制系统会指示机器人按照示教时记录下来的程序展现这些动作,就是“再现”的过程。“可编程控制”就是事先根据机器人的(检测)任务以及(检测)轨道编制控制程序,然后将程

序输入给机器人控制器。

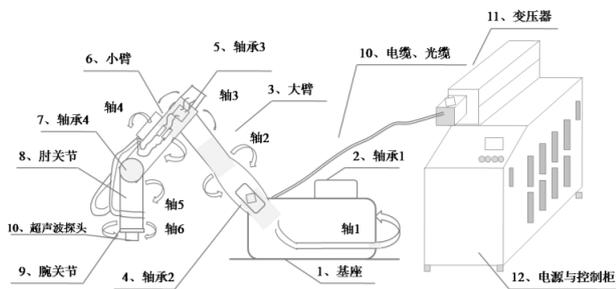


图1 超声波无损检测机器人的主体结构及主要构件详图

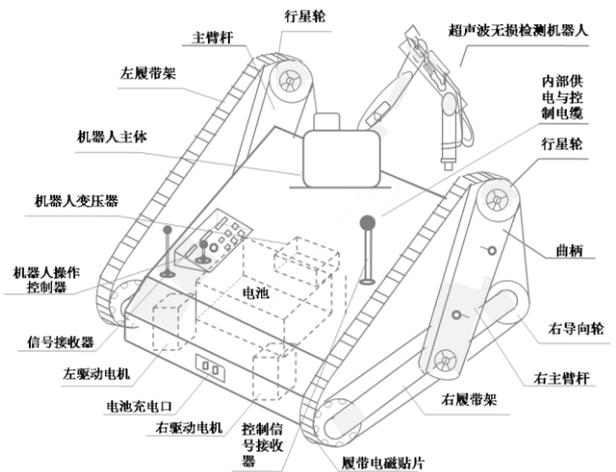


图2 高支架履带式超声波无损检测机器人的主要构件及详图(轴视图)

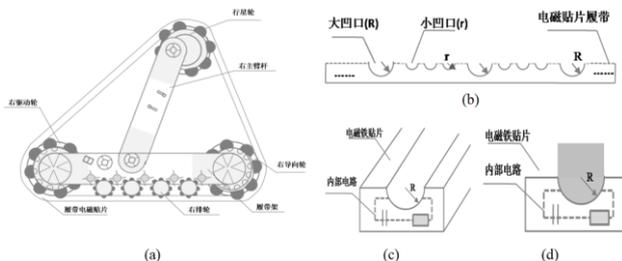


图3 高支架履带式超声波无损检测机器人的行走机构的主要构件及履带通电产生磁性的细部结构详图

(a) 侧视图; (b) 履带展开图; (c) 电磁铁贴片和凹口(预留给凸起处: 凹凸咬合后内部电路闭合通电产生磁性吸附在小车行走的钢结构上); (d) 电磁铁贴和凹口(侧面图)

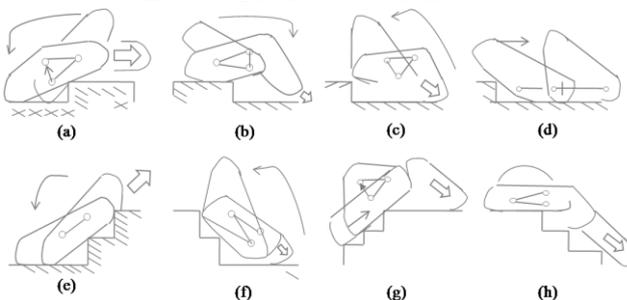


图4 一种新型的可移动超声波无损检测机器人可变形履带与障碍跨越物的相对位置关系图

一个超声波无损检测机器人系统主要包括: 机器人主体、各种电缆和控制电线、各种传感器、控制器、超声波探头(发射与接收)等。如下图所示:

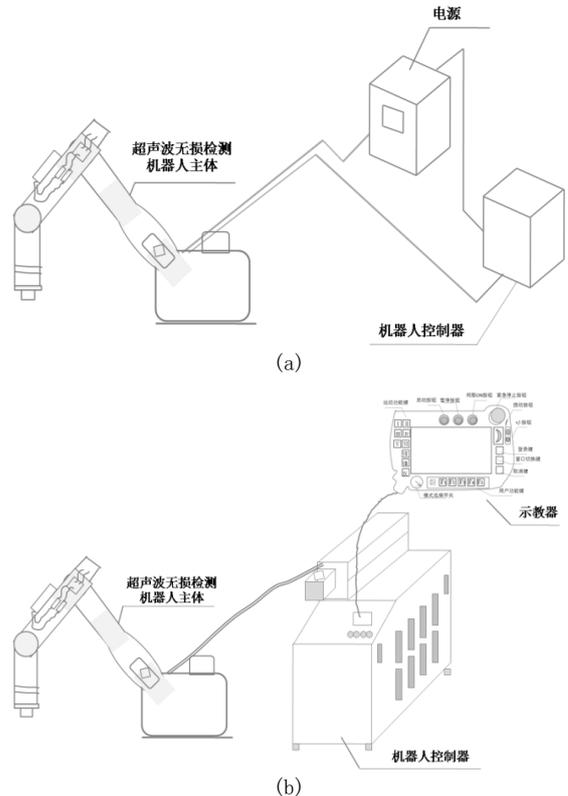


图5 (a)一种新型的可移动超声波无损检测机器人系统示意图(含控制器); (b)该新型的可移动超声波无损检测机器人系统通过示教器来实现机器人操控的示意图

3.2 内部控制系统结构

该型无损检测机器人采用遥控示教器进行远程操控(图6. a、b)。其内部控制结构框图见图6. c:

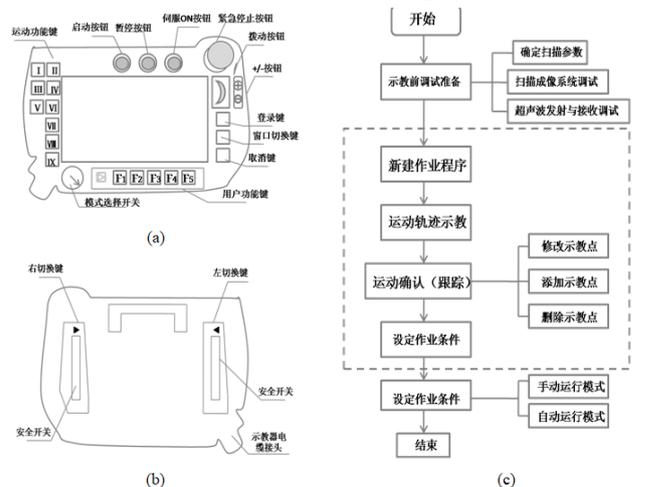


图6 一种新型的可移动超声波无损检测机器人遥控示教器

(a) 示教器正面; (b) 示教器背面; (c) 示教器内部运行程序逻辑结构框图

该型履带式无损检测机器人的遥控巡检系统运动控制系统控制结构框图如下图 7:

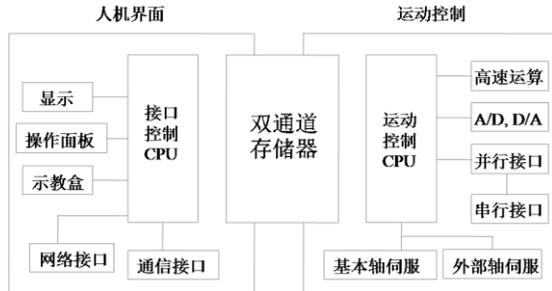


图 7 该型远程遥控的履带式遥控巡检系统运动控制系统框图。

4 特点分析

该新型的具有电磁控铁贴片阵的基于远程遥控和超声波无损检测技术的自行走钢结构缺陷及焊缝检测机器人及其改型，主要有以下创新点：

该型无损检测机器人宜采用视觉传感器，能够通过图像处理的方法提取钢结构位置和特殊节点，可实现自动探测区域的寻位。在定位需钢结构损伤检测的构件时，需加装接近觉传感器（电涡流、光电、超声波式等三种可选）。可集成一种或多种传感器，该型超声波无损检测工业机器人可实现对环境的感知、信息提取及处理；通过视觉、触觉等感知的反馈形成一定的闭环控制，对外部环境的变化具有一定的适应能力，如钢结构节点位置的自动寻位、钢结构焊缝自动寻迹等；

首先将现有的无损检测设备搭载到可多自由度活动的机械臂上，再采用了电磁控磁片组合阵列组成履带给传统检测类机器人安装上了行走装置。并且可以通过控制电路，来给磁片通电以控制磁性，通过履带上环形磁片依次通电来实现履带的行走，并且使得履带由于电磁效应，产生磁力，从而可以在高空的钢结构，以及竖向钢结构实现自由行走和远距离操控；用贴片组成的履带代替车轮直接与钢结构平面接触，不仅可以缓冲路面状态，还可以贴合各类型钢结构平面，实现无障碍行走。并通过电磁片的通电与否控制履带的磁性能对钢结构平面具有相当的吸附力；

并且采用非等边三角形的可变形履带机构。底盘两侧的履带架连接导向轮（前）和驱动轮（后），履带架中连接有主臂杆，主臂杆上通过曲臂接着行星轮。导向轮、驱动轮，和行星轮三只轮子共同支撑住履带。当主臂杆绕履带架上的轴旋转时，通过曲柄带动行星轮转动，以此实现履带的不同构形，以适应不同的移动环境。两个驱动轮各自连接着一台电动机。两台电动机转速相同时，左右两条履带转速相同，机器人匀速直线前进。当两台电动机转速不一致时，机器人向转速慢的一侧转弯；

超声波钢结构无损检测机器人主体部分采用最常见的 6 自由度、负载为 10kg 的工业机器人，关节处采用了

旋转编码器。末端执行器为超声波无损检测仪器。并且在机器人总体设计上设计成可改装的末端执行器接口形式；

将传统的钢结构超声波无损检测机器人系统的各种分散的组成部分进行集成化，集成到可移动的焊接机器人体系中。并通过接入网络可实现多台工程焊接机器人的同步施工控制。驱动方式从液压到电机驱动；控制方式从传统的磁鼓记录控制发展到计算机控制。集成的部分包括传统钢结构无损检测机器人系统的基本组成部分等；

控制系统的研发可采用 Workspace 系统，是一款由美国 Robert Simulation 公司开发的通用类机器人商业开发软件，可实现基于 PC 的机器人离线编程；也可招标采购相应的 IPC（工控机）、DCS（集散控制系统），或其他嵌入式控制装置；

远程遥控，自主微调。明确给出了钢结构超声波无损检测机器人的巡检轨迹示教编程流程框架。示教编程与通用型机器人示教编程的基本流程相似。示教器是一种智能终端，也可以用 PC 或 IC。示教编程有两种方式：一种为先编程后校点；另一种为编程校点同时进行。前者，将编程的操作现场隔开，可以在相对安静的环境中将程序写入或导入示教器。后者，编程与校点同时进行，主要用于机器人轨迹不确定，要根据现场来确定机器人动作的场景。当然，利用简单的单片机或工控机无法完成更为复杂的机器人检测动作的控制，在现有 PC 机操作系统的基础上应研发相应的专属控制软件。特别地，钢结构超声波无损检测机器人与通用机器人不同的是，超声波无损检测机器人在示教前需要进行一些调试准备工作，行走过程实现、行走姿态控制、检测区域定位、超声波发射与接收调试，以及图像和数据生成的调试等。这些操作可在“生产屏幕”选项来实现。具体流程见附图；

同时，需要安装并测试相应的传感器。内部宜设置车载 AGV 控制系统，可根据相应的系统，如：驱动系统、导航系统、引导系统、自动充电系统、无线局域网通信系统、驱动控制系统、非接触碰撞系统等。

5 工作流程

具体实施方式就是主要描述焊缝检测机器人的无损检测工艺流程，并阐述钢结构无损检测系统之间的关联和协作关系。因此，该型电磁铁贴片履带式行走焊缝检测机器人的主要使用流程如下：

打开开关，通过遥控器控制无损检测机器人在钢结构上的行走。当检测区域在钢结构上，焊接机器人可直接放置其上并行行走至需检测处；打开示教器，对齐钢结构上需要检测的区域，完成准备工作；打开示教器上的超声波接发开关，开始检测；平行移动机械臂前端超声波探针，完成扫描区域的超声波检测；通过示教器远程遥控信号指令来开关超声波发射与接收；完成超声波接收，示教器显示屏上或 PC 端等智能终端设备上显示出钢结构超声波检测结果。

6 结论与展望

本发明属于新型钢结构焊接施工设备发明,特别涉及在危险和人工不易到达的区域(如高空)完成的自行走焊接的情况。因此,特意设计了一种新型的特别适用于高空钢结构上行走的,具有电磁控铁贴片振型履带的,基于远程遥控和超声波探伤技术的可自行行走的焊缝检测机器人。属于工程装备的研发和工程智能化建造领域。实现宏观遥控、微观自主。

在核、太空、深海等极限环境的超声波无损巡检机器人的遥控操作,除了需要考虑极限环境的辐射、气压、重力、温度等方面的特殊性,同时需要机器人在机械结构、电气设计、传感方式、控制技术,等方面均有应对措施。

[参考文献]

- [1]汤天浩. 电力传动控制系统——运动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,2022.
 - [2]吴中俊,黄永红. 可编程控制器原理及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2018.
 - [3]张玉莲. 传感器与自动检测技术[M]. 北京:机械工业出版社,2023.
 - [4]陈贇. ARM 嵌入式技术原理与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.
 - [5]陈万米. 机器人控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2019.
- 作者简介:王圳(1990.11—),男,汉族,上海人,本科,上海大学,研究方向:施工技术与管理。