

翟云龙, 邹宸玮, 孙鹏飞. 一种基于 PLC 控制的超声测厚方法[J]. 智能计算机与应用, 2025, 15(2): 124-127. DOI: 10.20169/j. issn. 2095-2163. 250219

一种基于 PLC 控制的超声测厚方法

翟云龙, 邹宸玮, 孙鹏飞

(上海工程技术大学 航空运输学院, 上海 201620)

摘要: 汽车车门设计逐渐向流线型曲面发展, 本文提出了一种基于 PLC 控制的车门超声自动化测厚方法。该方法通过上位机实时监控机械臂与 PLC 之间的通讯, 利用精确的路径规划来确保机械臂安全高效地夹持超声探头完成超声测厚, 不仅实现了高精度的测厚, 还显著减少了人力投入, 降低了检测成本, 并有效避免了人为操作引起的误差。通过对车门弯折处的超声测量实验结果与实际测量值进行对比分析, 证明了本文所提方法的检测准确性和稳定性。

关键词: PLC; 机械臂; 车门; 超声测厚

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2025)02-0124-04

An ultrasonic thickness measurement method based on PLC control

ZHAI Yunlong, ZOU Chenwei, SUN Pengfei

(School of Air Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: The design of automobile door is gradually developing to streamline surface. In this paper, an automatic ultrasonic thickness measurement method based on PLC control is proposed. This method monitors the communication between the robot arm and PLC in real time by the host computer, and uses accurate path planning to ensure that the robot arm can grip the ultrasonic probe safely and efficiently to complete the ultrasonic thickness measurement, which not only realizes the high-precision thickness measurement, but also significantly reduces the manpower input, reduces the detection cost, and effectively avoids the error caused by human operation. The accuracy and stability of the method proposed in this paper are proved by comparing the experimental results of ultrasonic measurement with the actual measurement values.

Key words: PLC; Mechanical arm; Car door; Ultrasonic thickness measurement

0 引言

无损检测技术是在不破坏被检测材料的前提下, 对材料内部参数进行测量, 超声检测是最常用的方法之一, 所使用的设备为超声测厚仪。超声测厚仪凭借其便携性和高精度, 在测厚领域得到了广泛应用。超声测厚作为一种非破坏性检测方法, 主要目的是测量物体的厚度或壁厚, 确定物体的结构完整性和安全性^[1]。该技术可以检测物体内部的缺陷、裂纹、腐蚀、磨损等问题, 评估设备的健康状况, 采取必要的维护和修复措施; 利用超声波在物体中传播的特性, 通过测量超声波在物体中传播的时间和强度, 计算物体的厚度或壁厚。在超声测厚过程中, 通常使用一种称为超声探头的设备。超声探头

中包含一个或多个发射器和接收器, 发射器会向物体发射超声波, 接收器会接收从物体反射回来的超声波, 使用计算机进行数据处理和分析, 可以得到物体的厚度或壁厚信息。超声测厚技术广泛应用于工业、航空航天、建筑、医疗等领域。在工业领域, 超声测厚技术可以用于检测管道、容器、储罐、船舶等设备的壁厚, 以确保其安全运行; 在医疗领域, 超声测厚技术可用于检测人体内部器官的厚度, 以帮助医生进行诊断和治疗。总之, 超声测厚技术能够帮助评估各种物体的结构完整性和安全性, 及时发现并解决潜在问题。但是在某些特殊的环境下, 超声测厚仪无法使用, 需要进行一定的优化, 如对于一些高温的材料, 需采用与其温度相匹配的探头和耦合剂, 并对检测结果进行校正, 从而加快检测过程;

作者简介: 翟云龙(2000—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 路径规划, 无损检测。Email: 1109560648@qq.com; 邹宸玮(1996—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理, 图像识别; 孙鹏飞(1999—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 路径规划, 机械设计。

收稿日期: 2023-08-27

哈尔滨工业大学主办 ◆ 专题设计与应用

对于粗晶材料,应使用低频直探头,并确保标准块的材质和工艺与被检测材料匹配,保证检测的准确性^[2]。

机械臂是一种由多个关节和执行器组成的机器人,因其高度灵活和可编程性,被广泛应用于制造、医疗、农业和物流领域,提升效率和准确性,同时降低人力成本与风险。手动超声测厚检测存在劳动强度高、效率低,且结果易受人为因素影响等问题,本文将机械臂应用在超声测厚中,可编程逻辑控制器(PLC)与机械臂通讯,在机械臂末端制作特定的夹具让机械臂夹持超声探头来对车门进行测厚,相比于人手具有更高的稳定性,实现了对超声测厚的自动化。

1 超声测厚原理

超声测厚技术利用超声波在物体中传播的特性来测量物体的厚度或壁厚。超声波是一种高频声波,其频率通常在1到20 MHz之间^[3]。超声波在物体中传播,遇到不同密度和材质的界面时,因为不同介质之间的声阻抗差异导致超声波能量的部分反射和折射。超声测厚通常通过超声探头来实现。超声探头包含一个或多个发射器和接收器,发射器会向物体发射超声波,而接收器会接收从物体反射回来的超声波。当超声波遇到物体内部的界面时,一部分能量会反射回来,另一部分能量会穿过物体传播到另一侧的界面。接收器会接收到反射回来的超声波,测量其传播时间和强度。超声测厚方法基于物理学原理,根据超声波在物体中的传播速度和反射信号的传播时间,计算出物体的厚度或壁厚^[4]。

2 超声测厚方法

汽车车门的表面形状通常是略微凸起的曲面,车门的形状和设计会根据车型、品牌和使用目的而有所不同。在一般情况下,汽车车门表面大多数是平面的,更容易安装门窗、扶手、镜子等附件,并且更容易制造和维修。但是,一些高档或运动型汽车可能会采用略微凸起的曲面来增加造型感和流线性。此外,汽车车门的表面形状也会受到安全和功能的影响,例如:一些车型的车门会在设计上增加凸起或凹陷的区域,以提高车门的刚度和耐撞性。一些汽车车门设计出凸起的区域,以增加空气动力学效果,降低风阻,提高汽车的燃油经济性。汽车车门的表面通常是平坦或略微凸起的曲面,受车型、品牌、安

全性和功能等多种因素的影响。在表面凸起区域,传统的人工校准过程较为繁琐,效率低下。为了解决这一问题,本文采用机械臂的精确定位能力,通过机械臂夹持超声探头进行测厚,可以大大提高测量的效率和准确性。

2.1 机械臂控制

本文采用国产品牌节卡的协作机器人。在超声测厚作业时,综合考虑机器人与车门之间的碰撞风险及对超声探头的保护,因此路径规划成为设计程序的一大挑战。为了保证机器人能够高效、准确地遍历所有需要检测的点,路径规划必须确保最短路径的同时避免任何潜在的干扰或碰撞问题。在路径规划过程中不仅需要考虑机器人的工作空间,还需要进行多方面的调整,以确保路径的安全性和精确性。此外,信号传递采用了机械臂电控柜的IO信号,使用二进制编码,通过4个位置灯来控制机械臂的十个目标点位。上位机负责实时监控信号的变化,确保系统的稳定运行与数据的准确传输,从而有效支持机器人的操作与任务执行,精确控制机器人各个工作点的动作,实现高效的自动化操作。

2.2 机械臂末端夹具制作

对于工业机器人来说,夹持物品是其抓取作业方式中较为重要的应用之一。工业机器人作业任务能否顺利完成直接取决于夹持结构,机器人末端的夹持结构要结合实际的任务以及工作环境的要求来设计,夹持结构形式是多样化的。本测厚方法需要机械臂夹持超声探头进行测厚,需要制作特定的夹具,本夹具两侧为进水口,中间是出水口以及嵌入探头的位置,上方是与机械臂末端的固定端。机械臂末端夹具如图1所示。



图1 机械臂末端夹具

Fig. 1 Arm end fixture

2.3 水循环制作

耦合剂的选择应根据实际情况进行调整,考虑到材料的性质、表面状况及所需测量的精度等因素,在光滑材料的表面测厚时,可以使用黏度较低的耦

合剂,在粗糙材料的表面测厚时,使用黏度较高的耦合剂,温度比较高的材料要使用高温耦合剂^[5]。本文测厚方法考虑机械臂与车门的接触,采用水来做耦合剂,水从夹具喷出与车门耦合来检测厚度,为了使水完成循环,在车门底部放置了一个方形水槽来收集从车门洒落的水,水槽中的水在与蓄水池连接起来。为了保证水流的稳定性,在循环中加入了1.7 L的一个小型水泵。

2.4 超声波声速测量

声波是一种在弹性介质中传播的机械波,其振动方向与传播方向一致。声速是描述声波在介质中传播特性的基本物理量,受介质的性质和状态因素的影响。通过测定介质中的声速,可以推断介质的特性或状态变化^[6]。频率低于20 Hz的声波称为次声波;频率在20 Hz-20 kHz的声波可以被人听到,称为可闻声波;频率在20 kHz以上的声波称为超声波。超声波的传播速度就是声波的速度,具有波长短、易发射、能定向传播等优点,在超声波段进行声速测量是比较方便的^[7]。由超声测厚原理可知,厚度值=1/2声速×时间,声速可通过仪器测量,不同材料、组织状态的零件其声速不同,直接决定了超声测厚精度。

2.5 上位机监测

将机械臂运行程序以及测厚仪的参数设计等参数制作成软件进行实时监控,通过PLC来集中控制,其功能包括机器人的上下电,上下使能,输入输出位置信号等功能,PLC的输出信号为机械臂的输入信号,机械臂的输出信号为PLC的输入信号。

3 实验与分析

3.1 仪器选择

车门凸起的部分超声波检测的灵敏度低,波形容易发生变化从而影响超声测厚的准确性,所以选择了波形显示比较明显并且读数稳定的测厚仪,本文实验采用日本的奥林巴斯生产的EPOCH 650超声探伤仪,超声探头型号为M208-20/.125,与探头匹配的仪器S超声测厚仪型号为38 DL-PLUS,探头延迟块端面尺寸为直径5 mm,人工测量采用二十分度游标卡尺。

3.2 搭建实验平台

系统主要硬件包括机械臂、PLC、超声探头、车门、水循环装置、供电模块、上位机,实验场景如图2所示。



图2 实验平台

Fig. 2 Experimental platform

3.3 实验结果分析

选择在车门的折痕处作为厚度测量点位,以确保对车门结构的关键区域进行准确检测。这些折痕位置通常是受力较大或结构较复杂的区域,对其厚度进行测量有助于评估车门的整体强度和均匀性,确保在制造过程中符合质量要求,优化车门的安全性能和耐久性。本次实验测量的点位共有10个,将车门划分为3个区域,分别对应于车门上的3条折痕处。车门测量点位如图3所示。



图3 车门测量点位

Fig. 3 Door measuring point

测量完成后对车门进行切割,得到每个测量点的横截面,通过计量得到各个位置的真实值,真实值通过人工进行物理测量。在测厚实验中,偶尔出现数据偏离正常数值的现象,应首先检查探头与被测表面的接触是否良好,必要时在校正位置进行多次测量,以提高数据的准确性。

超声测量与实际测量结果见表1。

表1 超声测量与实际测量结果

Table 1 Ultrasonic measurement and actual measurement results

测量位置	测量结果	
	计量值/mm	超声值/mm
1	1.01	1.02
2	1.02	1.01
3	1.08	1.07
4	1.07	1.06
5	1.07	1.08
6	1.08	1.07
7	1.08	1.08
8	1.07	1.08
9	1.08	1.09
10	1.07	1.08

为了更好地对比超声测量与实际测量结果,将表中的数据转化成折线图进行对比,如图4所示。可以看出,超声测厚的结果与真实测量的结果差别微小,误差范围在0.01 mm左右,数据比较理想,引起误差的原因是因为人工的测量点位与机械臂实际到达点位有偏差,实验结果证明了本文方法可以实现对车门的超声自动化测厚。

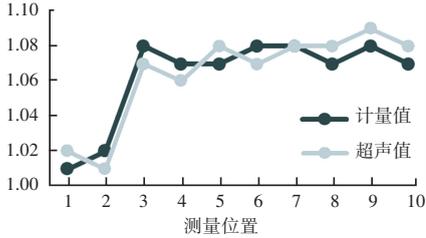


图4 车门超声测量值与计量值折线图

Fig. 4 Door ultrasonic measurement value and measurement value line diagram

4 结束语

本文提出并实现了一种基于 PLC 控制的车门超声自动化测厚方法。通过将机械臂与超声探头结

合,利用精确的路径规划和上位机实时监控,实现了车门弯折处的厚度自动化测量。实验结果表明,该方法能够显著提高厚度检测的精度和效率,与人工测量值对比误差在0.01 mm以内,验证了该方法的准确性和可靠性;同时,有效减少了人力投入,降低了检测成本,避免了人为因素导致的误差。该方法在工业实际应用中具有较高的推广价值,但在系统优化和全面替代人工方面仍有进一步提升空间。

参考文献

- [1] 盛国裕. 超声测厚仪在材料检测中的应用[J]. 仪器仪表与分析监测, 2000(3): 29-31.
- [2] 刘洪. 几种特殊情况下超声测厚技术探讨[J]. 特种设备安全技术, 2019(1): 53-54.
- [3] 李传坤, 秦鹏, 韩焱. 高精度测厚仪设计[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(8): 2695-2696.
- [4] 徐志辉, 林莉, 李喜孟, 等. 材料薄层超声无损测厚方法评述[J]. 理化检验(物理分册), 2004, 40(8): 407-410.
- [5] 李翔. 影响超声测厚准确性的因素[J]. 中国科技信息, 2010(17): 50.
- [6] 姚建辉, 杨建华. 核电锻件直筒节自动化超声检测[J]. 大型铸锻件, 2023(2): 12-15.
- [7] 朱君君, 李绪丰. 高温工业管道超声测厚系统[J]. 无损检测, 2013, 35(6): 57-59.