

基于超声导波技术的断轨实时监测系统研究

王日 常福祥 李刚 马强 王栋
中国铁路太原局集团有限公司 山西 太原 030000

摘要: 高速铁路作为交通运输的重要组成部分,是国家重要的基础设施,其运营安全关系到人民群众的生命财产安全。钢轨是高速铁路轨道的重要组成部件,其内部存在着复杂的结构,其内部缺陷会对高速铁路运营安全造成严重威胁。目前,铁路上运用比较多的钢轨缺陷检测方法主要包括导波检测技术和超声检测技术。由于钢轨结构复杂,难以对其进行全面、准确地检测和评估,本文采用超声导波检测技术对高速铁路钢轨进行断轨监测。通过采用超声导波技术对高速铁路钢轨进行断轨监测,可以提高钢轨损伤识别与定位的准确性和可靠性,有效避免断轨事故的发生。

关键词: 超声导波技术; 钢轨伤损; 断轨监测; 实时监测

1 概述

我国高速铁路钢轨一般采用高强度、高刚度和高抗疲劳的无缝钢管作为钢轨的材质,通过焊接制造而成。由于钢材的高强度和刚度,钢轨在使用过程中,会由于疲劳、腐蚀等原因导致钢轨内部产生裂纹、夹渣等缺陷^[1-2]。这些缺陷对钢轨的强度和刚度产生影响,严重威胁高速铁路轨道交通运输安全,如图1所示。因此,对于钢轨内裂纹、夹渣等缺陷的检测与评估具有重要意义^[3]。

超声导波技术是基于导波检测技术发展起来的一种新型无损检测方法,它能利用超声导波在材料中传播时引起局部反射的特性来进行检测。超声导波通过在材料中激发超声换能器(换能器是由一个对称的中心有孔或多个中心无孔的圆柱体组成,它是一种频率为100kHz的弹性波)来传播。

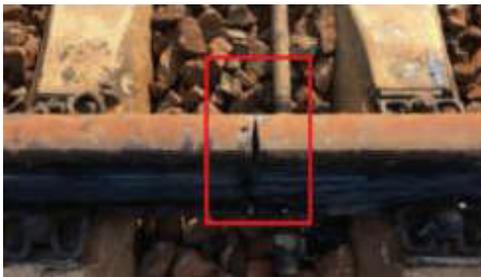


图1 钢轨断裂

2 超声导波技术的基本原理

超声导波技术是一种基于超声导波的无损检测方法,其基本原理是:利用钢轨中的导波进行检测,可以对钢轨中存在的缺陷进行定位与定量,从而实现对钢轨的健康监测。超声导波技术的优点在于:

- (1) 可以实现对钢轨缺陷的检测与定位;
- (2) 对钢轨内部缺陷不敏感,检测精度高;
- (3) 可以实现非接触式检测。

- 1) 不需要接触钢轨,适用于恶劣的工作环境;
- 2) 可以实现非接触式检测,可以避免因钢轨表面裂纹、变形等因素而导致超声导波衰减所引起的误判;
- 3) 能够实现无损检测,可以避免对钢轨造成二次损伤;
- 4) 具有较强的抗电磁干扰能力。

基于超声导波技术进行断轨监测的基本原理如下^[4-5]:首先通过传感器采集钢轨中导波波形,然后通过采集到的导波数据提取关键特征值,从而获得钢轨中导波波速和衰减值。在此基础上通过计算得到断轨处导波波速和衰减值,并根据计算结果对断轨处进行定位与定量。

3 钢轨断轨监测系统

钢轨断轨监测系统由传感器模块、数据存储模块和数据通信模块组成。传感器模块接收超声导波检测的实时波形,并将其实时采集到系统中。数据采集模块根据传感器模块采集到的导波信号对钢轨内部缺陷进行识别。数据存储模块对采集到的导波信号进行分析处理,将检测结果存储到数据库中。数据通信模块利用5G通信技术,将处理后的信号传输到计算机上。计算机通过软件分析处理,获取钢轨内部缺陷的位置信息、缺陷尺寸等。通过安装在高速铁路钢轨上的超声波探伤探头,将获取到的钢轨缺陷信息传输到计算机中,由计算机对缺陷进行分析,根据检测结果给出相应的处理结果,如有缺陷则系统发出报警,如图4、5所示。

4 超声波传感器系统结构

超声导波传感器阵列由若干个超声波传感器构成,根据钢轨损伤检测的需求,设计的传感器阵列如图6所示。

通过超声波传感器阵列可以获得多个方向的超声信号,对多个方向的超声信号进行实时采集,实现对钢轨内部缺陷的多维信息监测。

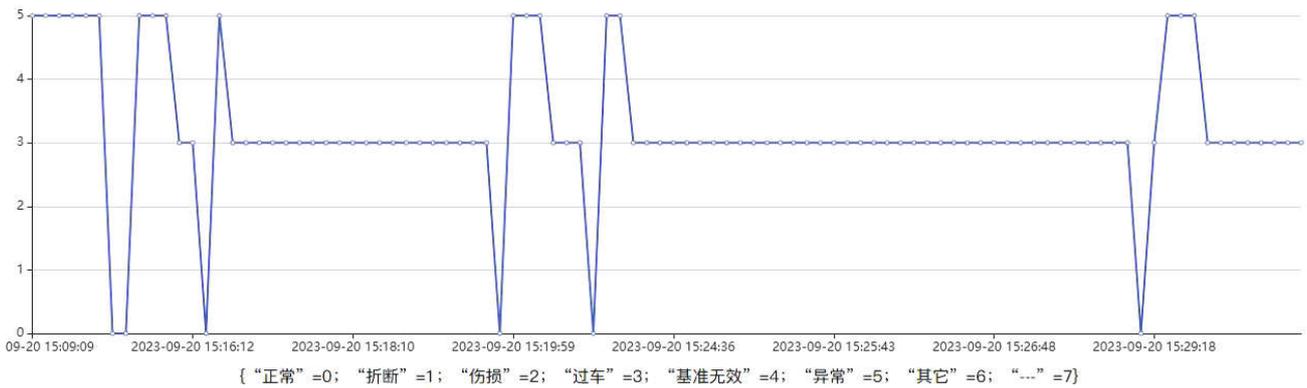


图4 图表实时数据



图5 监测系统客户端报警

根据导波在钢轨中传播时产生的声波波形，利用超声导波在钢轨中传播时产生的回波波形特征，可以对钢轨内部缺陷进行识别和定位。

5 现场试验测试

为了验证超声导波检测技术在钢轨中的断轨监测系

统的应用效果，本文在某高速铁路现场进行了试验，现场安装和测试如图7、8所示。根据实际的测试情况，测试中所使用的换能器和传感器如图9、10所示，对于钢轨的损伤，通过人工切割钢轨的方式对轨头、轨腰、轨底位置分别制造出尺寸10mm缺陷，如图11所示，根据实际试验情况来看，钢轨制造的损伤系统都可以可靠识别出并进行报警，传感器采集到的信号具有很好的一致性和稳定性。在正常使用条件下，传感器采集到的信号波形与钢轨损伤的波形信号基本一致。经过分析对比可知，对于钢轨中存在的缺陷，通过采用超声导波检测技术能够有效地判断出钢轨中是否存在缺陷，从而保障高速铁路运营安全。

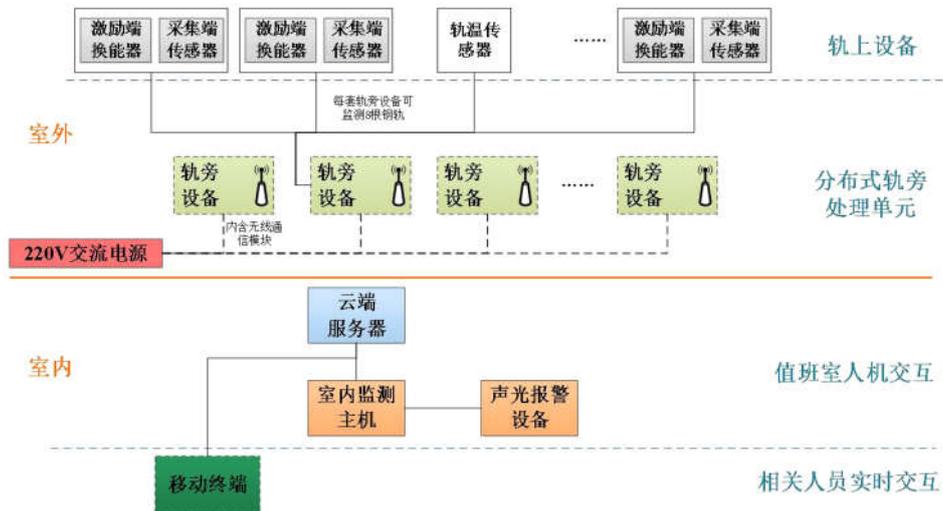


图6 系统结构



图7 现场安装



图8 现场测试



图9 换能器



图10 传感器

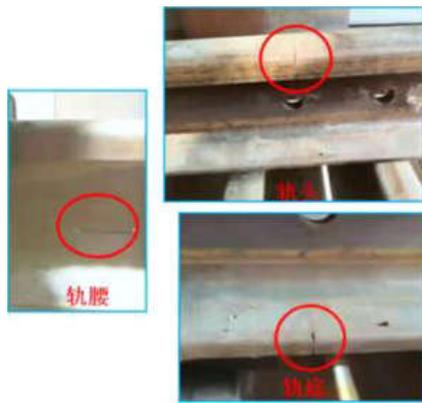


图11 钢轨损伤图

6 结束语

本文主要针对高铁钢轨断轨监测进行了研究,通过采用超声导波技术^[6]对钢轨进行断轨监测,可以有效地避免断轨事故的发生。由于高速铁路钢轨的结构复杂,采用传统的超声检测技术和导波检测技术均难以对其进行全面、准确地检测和评估,因此,本文提出了一种基于超声导波技术的高速铁路钢轨断轨监测系统。该系统由超声导波传感器、数据采集系统和数据处理分析系统组成,具有以下优点:

(1) 能有效检测钢轨中各种类型的损伤和缺陷,对钢轨中的裂纹、伤损和脱落物等缺陷识别与定位非常准确;

(2) 可以监测钢轨内部结构情况,并通过导波传播特性分析判断钢轨损伤与位置;

(3) 能够实时采集、分析、存储、管理、显示钢轨中各种类型损伤和缺陷的信息;

(4) 该系统具有良好的人机界面,操作简单方便,实现了对钢轨断轨事故的自动预警。

参考文献

[1] 钢轨伤损分类: TB/T1778—2010[S]. 北京:中国铁道标准出版社, 2010.

[2] 田茂.城市轨道交通设备系统建设一体化关键技术研究[D].北京:中国铁道科学研究院, 2019. TIAN Mao. Research on key technologies of integrated construction of urban rail transit equipment system[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2019.

[3] 孙次锁.基于时空检测数据智能分析的钢轨伤损检出与识判研究[D].北京:北京交通大学, 2019. SUN Cisu. Research on detection and judgment of rail damage based on intelligent analysis of time and space detection data[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.

[4] 蒋忠辉,杨铁军,吴志刚等.基于Lamb波的道岔断轨监测系统研究与应用[J].铁道建筑,2023,63(01):4-9.

[5] 廖林,袁懋诞,纪轩荣等.钢轨中高频超声导波单模态激励技术研究[J].机械工程学报,2021,57(18):23-31.

[6] 张伯瑶.基于超声导波的钢轨断裂监测定位系统研究与设计[D].西安理工大学,2022.DOI:10.27398/d.cnki.gxalu.2022.000017.