

Design and Application of a Rail Ultrasonic Rapid Composite Array Scanner

Weicheng Sun

Guangdong Shantou Ultrasonic Electronics Co., Ltd., Ultrasound Instrument Branch Company, Shantou, Guangdong, 515041, China

Abstract

With the development of national high-speed railways, trains are traveling faster and longer distances. Railway transportation has become an important mode of transportation related to national security and economic development. The existence of hazardous defects in steel rails is crucial to the safe operation of railway transportation. Ultrasonic testing is currently the main non-destructive testing method for rail inspection. Developing a multi form and high-efficiency ultrasonic composite array scanner has great benefits in improving detection efficiency and defect detection rate. The paper introduces the function, probe composition, detection principle, and design structure of a rail ultrasonic rapid composite array scanner, and demonstrates the operation and application effect of the scanner in rail weld detection.

Keywords

steel rails; ultrasound; array style; scanner

一种钢轨超声快速复合阵列式扫查器的设计与应用

孙伟成

广东汕头超声电子股份有限公司超声仪器分公司, 中国·广东 汕头 515041

摘要

随着国家高速铁路的发展, 火车行驶速度越来越快, 铁路里程越来越长。铁路运输已经成为一种关系国家安全及经济发展的重要交通方式, 钢轨是否存在危害缺陷, 关系着铁路运输的安全运行。超声检测是目前钢轨检测的主要无损检测方式, 研制一种多形式和高效率的超声复合阵列式扫查器对提高检测效率和缺陷的检出率有极大的好处。论文介绍了一种钢轨超声快速复合阵列式扫查器的功能、探头组成、检测原理和设计结构情况, 同时展示了扫查器在钢轨焊缝检测的操作及应用效果。

关键词

钢轨; 超声; 阵列式; 扫查器

1 背景

铁路是国家重要的交通运输方式, 钢轨的质量和完整性直接关系到列车的运行安全。随着铁路运输的不断发展, 对钢轨缺陷检测的准确性和效率提出了更高的要求。传统的钢轨检测方法, 如手工单模式检测或单点超声检测, 存在检测速度慢、检测覆盖范围有限、容易漏检等问题, 难以满足日益增长的铁路运输需求。为了提高铁路检测的效率和降低检测成本, 同时确保检测结果的可靠性, 需要一种能够快速、多模式的钢轨缺陷的检测装置, 以提前发现潜在的安全隐患。钢轨超声快速复合阵列式扫查器的设计旨在克服传统检

测方法的不足, 适应铁路运输行业对安全性、效率的要求, 实现对钢轨的高效、准确检测。

2 扫查器功能介绍

钢轨超声快速复合阵列式扫查器配有阵列式组合超声探头, 通过连接钢轨超声探伤仪的高速多路收发电路, 可进行多个超声探头的快速发射和接收组合, 实现对钢轨轨墙部分的垂直、倾斜、水平、平面状、体积状和点状缺陷的全断面连续综合超声检测^[1,2]。

3 超声探头组合情况及分布

第一, 钢轨超声快速复合阵列式扫查器的超声探头设计了4种探头, 共7只超声探头, 13个晶片, 分别为:

- ① T1+T3 双晶 K1 探头 1 只, 超声发射角度为 45°。
- ② T2+T4 双晶 K1 探头 1 只, 超声发射角度为 45°。
- ③ R+R 双晶 K1 探头 4 只, 由 R1、R2、R3、R4、

【作者简介】孙伟成(1985-), 男, 中国广东汕头人, 本科, 工程师, 从事超声检测设备、电磁检测设备等无损检测系统和设备的研发设计研究。

R5、R6、R7、R8 组成，超声接收角度为 45°。

④ 0° 单晶 0° 探头 1 个，可进行超声发射和接收，发射角度和接收角度为 0°。

第二，各晶片入射点在同一条水平直线上，其中 T1、T3、T4 为单发射晶片、T2 为可发可收晶片，R1、R2、R3、R4、R5、R6、R7、R8 为接收晶片、0° 为单发射晶片。

4 快速复合阵列式扫查检测原理

4.1 快速复合阵列式扫查模式

快速复合阵列式扫查一个周期共 29 种组合，共包括以下 4 种模式：

① 串列式 K 型扫查模式^[9]，进行 3 个发射 9 个接收的 26 种快速串列式 K 型扫查组合。

由 T3、T2、T4 做发射、R1~R8 做接收，其中 T2 为可发可收模式，按钢轨超声探伤仪设定规律进行 26 种收发组合的串列式 K 型扫查，各通道轮流收发工作，将轨墙断面划分为 26 个区，上下每个区高度约为 6.75mm，实现串列式 K 型扫查对钢轨轨墙的垂直类缺陷的全断面连续高密度检测。

② 单 K1 超声探头自发自收模式。

由 T2 超声探头做单 K1 超声探头做自发自收模式完成，实现钢轨轨墙斜裂纹、体积状、点状缺陷的检测。

③ K1 超声探头一发一收穿透扫查模式。

由 T1 超声探头做发射、R7 做接收完成，实现一发一收模式对钢轨轨底缺陷进行穿透检测。

④ 0° 超声探头自发自收扫查 1 种。

由 0° 超声探头做自发自收模式完成，实现钢轨轨墙部分的水平类缺陷的检测。

快速复合阵列式的组合扫查模式下，钢轨轨墙分区、各探头收发组合模式和检测深度的对应关系如表 1 所示。

4.2 快速复合阵列式组合扫查原理

如图 1 所示，探头下面的直线条代表超声波在钢轨中发射到接收的传播路径。由超声探头 T2~T4、R2~R8 组成 3 发 8 收的串列式 K 型扫查模式，将钢轨轨腰高度 26 等分分区，最上方为第 1 个分区，每一组发射接收负责一个分区，通过依次轮流组合超声发射接收，实现轨腰从上到下全覆盖扫查。其中超声探头 T2 发射 R8 接收负责第 1 分区的扫查；超声探头 T2 发射 R7 接收负责第 2 分区的扫查；超声探头 T3 发射 R8 接收负责第 3 分区的扫查；超声探头 T3 发射 R7 接收负责第 4 分区的扫查；超声探头 T4 发射 R8 接收负责第 5 分区的扫查；超声探头 T4 发射 R7 接收负责第 6 分区的扫查；超声探头 T2 发射 R6 接收负责第 7 分区的扫查；超声探头 T2 发射 R5 接收负责第 9 分区的扫查；超声探头 T3 发射 R5 接收负责第 10 分区的扫查；超声探头 T4 发射 R6 接收负责第 11 分区的扫查；超声探头 T4 发射 R5 接收负责第 12 分区的扫查；超声探头 T2 发射 R4 接收负责第 13

分区的扫查；超声探头 T2 发射 R3 接收负责第 14 分区的扫查；超声探头 T3 发射 R4 接收负责第 15 分区的扫查；超声探头 T3 发射 R3 接收负责第 16 分区的扫查；超声探头 T4 发射 R4 接收负责第 17 分区的扫查；超声探头 T4 发射 R3 接收负责第 18 分区的扫查；超声探头 T2 发射 R2 接收负责第 19 分区的扫查；超声探头 T2 发射 R1 接收负责第 20 分区的扫查；超声探头 T3 发射 R2 接收负责第 21 分区的扫查；超声探头 T3 发射 R1 接收负责第 22 分区的扫查；超声探头 T4 发射 R2 接收负责第 23 分区的扫查；超声探头 T4 发射 R1 接收负责第 24 分区的扫查；超声探头 T2 发射 T3 接收负责第 25 分区的扫查；超声探头 T3 发射 T3 接收负责第 26 分区的扫查。超声探头 T2 负责单 K1 斜入射自发自收全断面扫查。超声探头 T1 发射 R8 接收负责钢轨轨底穿透扫查。超声探头 0° 负责直入射自发自收全断面扫查。上述几个模式由超声设备的高速电子开关依次轮流切换实现模式和通道的切换。

表 1 钢轨轨墙分区、各探头收发组合模式和检测深度对应关系表

分区	收发组合模式		检测深度 (mm)
1	串列式	T2R8	3.4
2		T2R7	10.2
3		T3R8	16.9
4		T3R7	23.7
5		T4R8	30.5
6		T4R7	37.2
7		T2R6	44.0
8		T2R5	50.8
9		T3R6	57.9
10		T3R5	64.3
11		T4R6	71.1
12		T4R5	77.9
13		T2R4	84.6
14		T2R3	91.7
15		T3R4	98.2
16		T3R3	105.0
17		T4R4	111.7
18		T4R3	118.5
19		T2R2	125.3
20		T2R1	132.0
21		T3R2	138.8
22		T3R1	145.6
23		T4R2	152.3
24		T4R1	159.1
25		T2T3	165.9
26		T3T3	172.7
全断面	单 K1	T2	0~176
轨底	穿透	T1R8	176
全断面	0°	0°	0~176

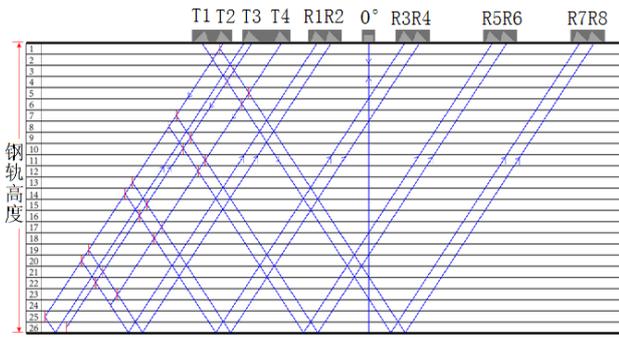


图1 阵列式组合扫查原理示意图

5 快速复合阵列式扫查器结构设计

如图2所示，快速复合阵列式扫查器由扫查器主体、超声探头、提手、编码器、探头线、对中侧轮等结构组成。其中扫查器主体由铝合金加工而成，结构坚固，重量轻，主要作为外壳并装配固定其他组件的作用。超声探头，即上文提到的激励和接收超声的专用探头，其安装位置由超声发射和接收的传播路径决定。提手组件主要用于扫查器的推行辅助作用。编码器组件用于记录扫查器推行距离，便于伤损的水平定位。探头线将各探头的信号连接至超声主机。对中侧轮保证扫查器在推行过程中始终保持在钢轨踏面居中行走。

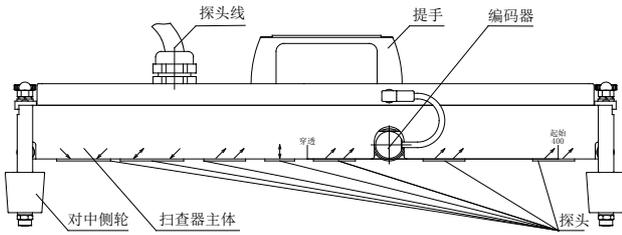


图2 快速复合阵列式扫查器结构示意图

6 扫查检测过程（以覆盖60钢轨焊缝及热影响区两边各200mm范围为例）

将扫查器与仪器连接好，置于轨头轨面上，调节对中调节螺钉，使扫查架中心线与钢轨轨腰纵向中心线重合。

将快速复合阵列式扫查器前端放置在离钢轨焊缝中心400mm的位置做扫查起点，沿着钢轨长度方向移动扫查器，使穿透中点线至对侧热影响区200mm处，实现焊缝及热影响区两边各200mm范围轨墙的全断面扫查。

扫查环节分为正向扫查、反向扫查、0°扫查进行。正向扫查、反向扫查时，仪器进行3发9收的复合串列式、单

K1、穿透的轮流重复扫查模式^[4,5]。0°扫查为0°超声探头做自发自收扫查模式。

7 扫查效果

如图3所示，为扫查GHT-1ab钢轨试块A端1#到5#平底孔及A端面的A/B扫超声B扫成像图形。

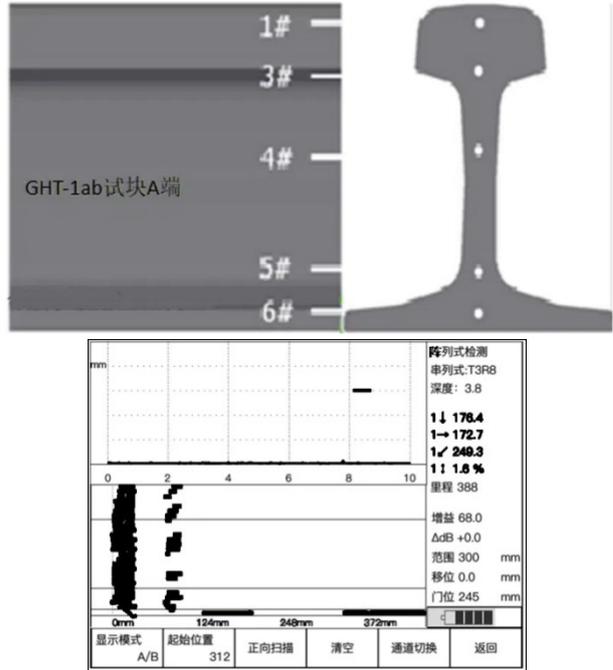


图3 GHT-1ab钢轨试块扫查效果

8 结语

论文在阐述设计钢轨超声快速复合阵列式扫查器的背景基础上，详细地介绍了该扫查器的功能和设计原理，并展示了设计的扫查检测效果，验证了该设计方案的有效性和实用性，可满足钢轨的超声无损检测，为铁路钢轨缺陷检测提供一种快速检测方法。

参考文献

- [1] 夏纪真.工业超声波无损检测技术[M].广州:广东科技出版社,2009.
- [2] 中国机械工程学会无损检测学会.超声波检测[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 张世荣,赵准,李善伟.串列式超声探伤扫查装置的设计[J].机械设计与制造,2002,6(3):81-82.
- [4] TB/T 1632.1—2014钢轨焊接通用技术条件[S].
- [5] TB/T 2340—2012 钢轨超声波探伤仪[S].