

轨道车辆金属与非金属黏接结构的 视频超声检测

由于弹性胶黏剂具有良好的防腐密封性，还具有隔热、降噪、减震等功能，越来越多的轨道车辆部位用其代替传统连接方式，金属与非金属的粘接占有相当的比例，黏接结构在如高速动车组车窗等各方面都有广泛应用，目前针对黏接结构的无损检测方法包括红外热波法、激光散斑、超声、太赫兹、射线等，但大多数检测方法都不适合现车检测，超声检测技术穿透能力强、灵敏度高、检测成本低，适用于现场检测。相对于常规超声等技术，视频超声技术检测效果更加直观、缺陷识别更加容易，因此选用视频超声检测技术进行试验研究。

1 试样制备与试验方法

1.1 试样准备

1.1.1 根据动车组车窗黏接结构制作了玻璃 - 聚氨酯 - 铝板结构的试样（编号 1），试样规格（长 × 宽 × 高）为 320 mm × 300 mm × 20 mm，采用聚氨酯胶粘剂，最上层为玻璃，中间为聚氨酯胶黏剂，最下层为铝板。黏接工艺过程为清洁 - 活化 - 底涂 - 涂胶，图 1 为试样实物及其自聚焦相控阵水浸检测图像。

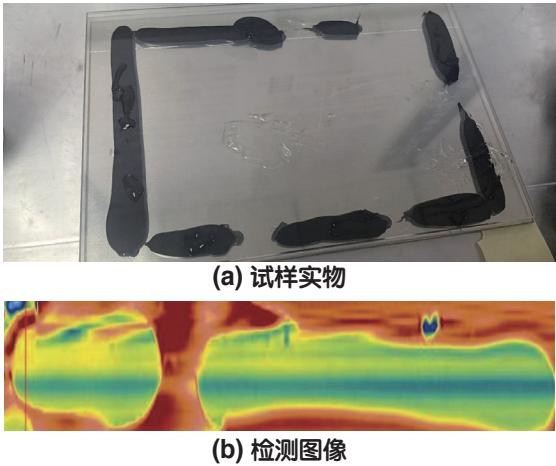


图 1 试样 1 实物与自聚焦相控阵水浸检测图像

1.1.2 如图 2 所示，制作了铝板 - 聚氨酯黏接试样和玻璃 - 聚氨酯黏接试样（编号 2 ~ 6），并设置了黏接良好、全部脱黏、局部脱黏等胶接状态。

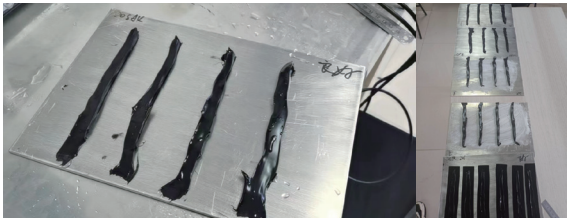


图 2 铝板 - 聚氨酯黏接试样和玻璃 - 聚氨酯黏接试样

1.2 试验设备

如图 3 所示，采用 Dolphicam2 视频超声设备，针对玻璃 - 胶 - 铝板这种黏接结构，探头频率的选择对于缺陷的检出特别重要，从玻璃侧对黏接结构进行检测时选用频率为 0.7 MHz 的探头，从铝板侧对黏接结构进行检测时选用频率为 3.5 MHz 的探头。

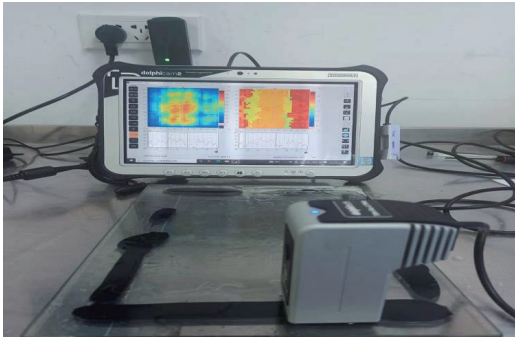


图 3 视频超声仪器和探头实物

1.3 试验方法

视频超声技术是一种基于平面阵多晶元超声实时成像原理，多阵元同时工作和采集图像，包括 A、B、C、D 等多种显示模式，可以直接进行 C 扫描成像并实时采集厚度信息。相较于常规超声技术，该视频超声技术的检测面积大、成像效果精细、可测量直径和面积、分辨率高；相较于相控阵技术，其具有更简单的参数设置和更高的分辨率；相较于滚轮线扫描相控阵技术，其具有

灵活的操作和细节的成像效果。

视频超声技术既可以检测玻璃和胶黏接，也可穿透胶层检测下层铝板和胶的黏接质量，即检测出黏接不连续。玻璃和聚氨酯的声速与声阻抗数据如表 1 所示，同一检测条件下选用频率为 0.7 MHz 的探头从玻璃侧实施检测，用刀片切开试样 1 下层铝板与胶黏接以模仿脱黏缺陷，其视频超声检测结果如图 4 所示，可见该技术能正确检出该缺陷。

表 1 玻璃、聚氨酯的声速与声阻抗

材料	密度 (kg/m ³)	纵波声速 (m/s)	声阻抗 (Pa×s×m ⁻³)
玻璃	2.5×103	5 892	1.415×10 ⁷
聚氨酯	1.2×103	1 333	2.28×10 ⁷

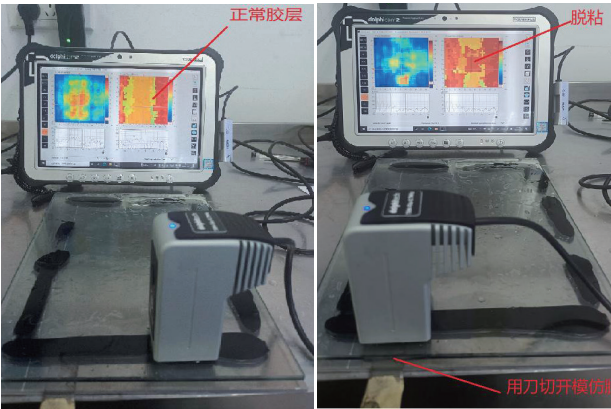


图 4 试样 1 正常胶层和脱黏缺陷的视频超声检测结果

2 试验结果与讨论

2.1 以玻璃侧作为检测面

2.1.1 带涂层玻璃和胶黏接试样 2 检测

用水做耦合剂，采用频率为 0.7 MHz 的探头从玻璃侧对带涂层玻璃和胶黏接试样 2 实施检测，检测结果显示胶条四周及下部黏接显示良好、胶条上侧中间无黏接显示。对图像显示粘接不好的试样部位破坏后进行对比，发现实物状态与检测结果一致（见图 5），由试验结果还可看出涂层对视频超声检测结果影响不大。



图 5 试样 2 缺陷的视频超声检测结果与实物对比

2.1.2 带涂层玻璃和胶黏接试样 3 检测

用水做耦合剂，采用频率为 0.7 MHz 的探头从玻璃侧对带涂层玻璃和胶黏接试样 3 实施检测，检测结果显示胶条上侧有一处椭圆形脱黏，胶条其余部位黏接正常，试验结果还表明涂层对视频超声检测结果影响不大。对存在缺陷的试样部位破坏后进行对比，发现实物状态与检测结果一致（见图 6）。

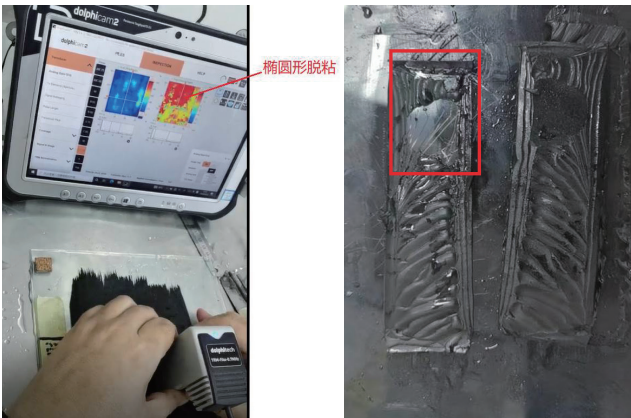


图 6 试样 3 缺陷的视频超声检测结果与实物对比

2.2 以铝板侧作为检测面

2.2.1 无涂层铝板和胶黏接试样 4 检测

用水做耦合剂，采用频率为 3.5 MHz 的探头从铝板侧对无涂层铝板和胶黏接试样 4 实施检测，探头在铝板侧盲扫检测，找到胶条位置，仪器设置为胶条黏接良好时显示黑色。检测结果为试样 4 胶条仅有极少量黑色显示，黏接质量差；实物破坏过程中胶条很容易撕掉，破坏后质量状态与检测结果一致，其视频超声检测结果与实物对比如图 7 所示。



图 7 试样 4 的视频超声检测结果与实物对比

2.2.2 无涂层铝板和胶黏接试样 5 检测

用水做耦合剂，采用频率为 3.5 MHz 的探头从铝板侧对无涂层铝板和胶黏接试样 5 实施检测，检测结果为胶条显示黑色，黏接正常，实物破坏后状态与检测结果一致，其视频超声检测结果与实物对比如图 8 所示。

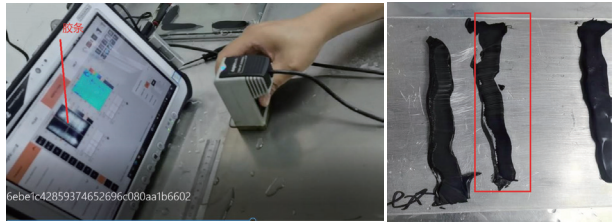


图 8 试样 5 的视频超声检测结果与实物对比

2.2.3 带涂层铝板和胶黏接试样 6 检测

用水做耦合剂，采用频率为 3.5 MHz 的探头从铝板侧对带涂层铝板和胶黏接试样 5 实施检测。检测结果为胶条显示黑色（清晰），黏接良好，且试验结果表明涂层对检测结果影响不大。实物破坏困难，破坏后状态与检测结果一致，其视频超声检测结果与实物对比如图 9 所示。

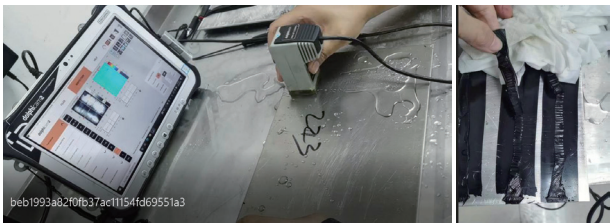


图 9 试样 6 的视频超声检测结果与实物对比

2.2.4 铝板 - 胶 - 玻璃黏接试样 1 检测

用水做耦合剂，将试样 1 翻转过来，采用频率为 3.5 MHz 的探头从铝板侧实施检测，用刀片切开下层玻璃与胶黏接以模仿脱黏缺陷。其检测结果显示不清晰，表明该方法能检测上层铝板和胶黏接的状况，但超声波穿透胶层检测下层玻璃和胶的黏接质量较为困难，其视频超声检测结果与实物对比如图 10 所示。

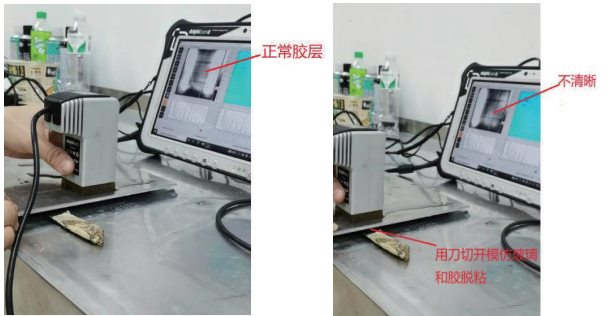


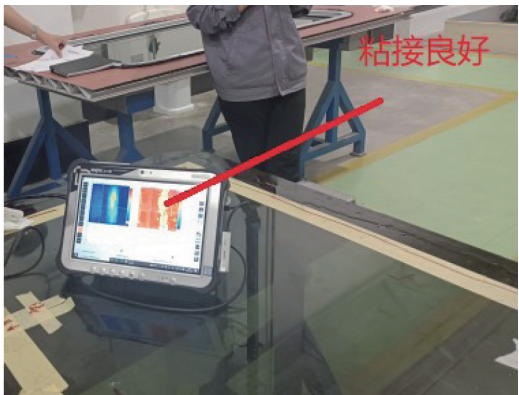
图 10 从铝板侧对试样下层缺陷的视频超声检测结果

2.3 实物黏接检测

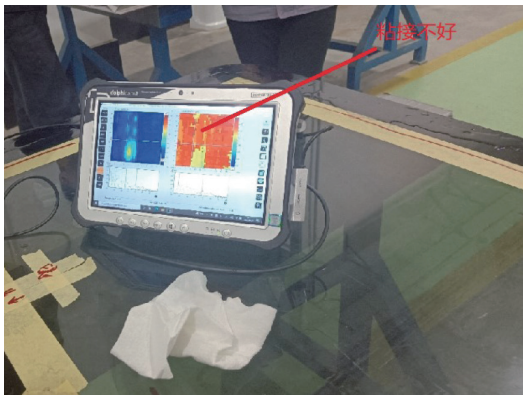
2.3.1 已拆解的车窗

对已拆解的车窗，采用视频超声技术检测其黏接状况。采用频率 0.7 MHz 的探头从玻璃侧实施检测，车窗侧面黏接良好区域和黏接不好区域

的检测结果显示如图 11 所示，且破坏后实物状态与视频超声检测结果一致。



(a) 粘接良好



(b) 粘接不好

图 11 已拆解车窗黏接的视频超声检测结果

2.3.2 现车车窗

对现车车窗，采用视频超声技术检测其黏接状况。采用频率为 0.7 MHz 的探头从玻璃侧实施检测（因铝板侧遮挡），车窗侧面黏接良好区域和黏接一般区域的检测结果如图 12 所示。



(a) 粘接良好



(b) 粘接一般

图 12 现车车窗黏接的视频超声检测结果

2.4 小结

(1) 不同规格黏接试样和现场实物的检测结果表明，视频超声波检测技术可以判断金属与非金属黏接质量；同时对比了超声波相控阵技术的检测结果，发现尽管超声波相控阵检测技术也能看到波幅的变化，但其检测效果不如视频超声波技术的直观。

(2) 采用视频超声频率为 **0.7 MHz** 的探头从玻璃侧检测，超声波既可以检测上层玻璃和胶黏接，也可穿透胶层检测底层铝板和胶的黏接质量；采用视频超声频率为 **3.5 MHz** 的探头从铝板侧检测，能检测上层铝板和胶黏接，但是超声波穿透胶层检测底层玻璃和胶的黏接质量比较困难。

3 结语

近年来，黏接技术发展迅速，其在轨道车辆中的应用也在不断扩展，其中金属与非金属的黏接占有相当的比例，迫切需要合适的技术对现车黏接状态和黏接强度进行无损检测。文章试验结

果表明，视频超声波检测技术可以判断金属与非金属黏接质量，且具有显示直观、操作方便等优点，将其应用于轨道车辆金属与非金属黏接检测是一种行之有效的办法。

- 1. 中车长春轨道客车股份有限公司
- 2. 上海展图机电有限公司
- 3. 航天智造（上海）科技有限责任公司
- 4. 上海空间推进研究所
- 5. 上海航天动力技术研究所
- 6. 上海材料研究所有限公司

田 勐¹, 王瑞卓¹, 王丽萍¹, 王 卓¹, 宋 怡², 尚继辉³,
吕延达⁴, 姚 晖⁵, 蒋建生⁶, 徐国珍³ 供稿

2023 年 11 月