

客车钢板弹簧异响问题分析与改进

吴冬冬^{1,2,3}

(1. 厦门金龙联合汽车工业有限公司, 福建 厦门 361023;

2. 福建省客车安全与节能技术企业重点实验室, 福建 厦门 361023;

3. 厦门市客车安全节能环保重点实验室, 福建 厦门 361023)

摘要:针对客车板簧异响问题,本文基于多年处理经验,总结了三种异响探测方法,进而从板簧端部固定点、板簧片间及板簧根部固定三个方面系统分析了异响成因,并提出了相应改进措施。这些措施有效解决了异响问题,为悬架设计的优化提供了理论与实践参考。

关键词:客车; 板簧; 异响; 探测方法; 改进方法

中图分类号:U463.33⁺4.1

文献标志码:A

DOI:10.15917/j.cnki.1006-3331.2026.02.012

Analysis and Improvement on the Abnormal Noise Problem of Bus Leaf Springs

WU Dongdong

(1. Xiamen King Long United Automotive Industry Co., Ltd., Xiamen 361023, China;

2. Key Laboratory of Bus Safety and Power-saving Technology Enterprises of Fujian Province, Xiamen 361023, China;

3. Key Laboratory of Bus Safety, Energy Saving and Environmental Protection of Xiamen City, Xiamen 361023, China)

Abstract: Aiming at the abnormal noise problem of bus leaf springs, this paper summarizes three abnormal noise detection methods based on years of handling experience. Then, it systematically analyzes the causes of abnormal noise from three aspects: the fixed points at the ends of leaf springs, the space between leaf spring plates, and the fixed parts at the roots of leaf springs, and puts forward corresponding improvement measures. These measures solve the abnormal noise problem, which provides theoretical and practical references for the optimization of suspension design.

Key words: bus; leaf spring; abnormal noise; detection method; improvement method

板簧作为一种重要的悬架形式,广泛应用于各类客车中^[1],然而其长期存在的异响问题尚未得到根本解决。这类异响主要由零部件间的相对运动与摩擦产生,不仅会直接降低驾乘品质与NVH性能,还可能成为部件早期磨损或失效的征兆。随着用户对舒适性要求的日益提升,解决板簧异响问题已愈发迫切。目前,业界虽已从加装隔振装置、调整间隙及优化结构等方面进行了诸多改进尝试,但该问题始终未能根本解决,这一状况已成为一项长期存在的行业共性技术难题。为此,本文基于多年处理经验,深入分析异响成因,总结有效改进方法,以期为该问题提供新的解决思路与参考。

1 板簧悬架的应用

1.1 在客车中配置的必要性

客车板簧悬架在以下三类场景中仍具有不可替代的优势:

1) 成本敏感型场景。在预算有限的地区(部分非洲、南美洲及西亚的发展中国家),板簧悬架凭借采购与维护成本低廉的优势^[2],成为满足基础客运需求的首要选择。

2) 路况恶劣型场景。在基础设施薄弱的非铺装路面工况下,板簧悬架结构简单、坚固耐用,且具备良好的可靠性与通过性,因此能有效应对颠簸、坑洼这类复杂路况,保证运营稳定性。

3) 短途高频型场景。在连接城市与周边县乡的短途客运线路上,乘客对舒适性的要求相对较低,更

收稿日期:2025-08-28。

第一作者:吴冬冬(1990—),男,工程师,主要从事客车底盘设计研发相关工作。E-mail:285297819@qq.com。

关注票价与便捷性。板簧悬架车型在满足基本运输需求的同时,运营成本更低,票价更具竞争力。

1.2 使用过程中的问题

根据我司市场反馈报告,板簧悬架在使用中主要存在板簧断裂、异响和舒适性差三个问题。板簧断裂的问题一般可通过生产过程管控、材质提升、增加刚度、增加片数等方式解决。舒适性差的问题一般可通过结合减振器阻尼进行微调、适当降低刚度来改善。若对舒适性有更高的要求,则建议选用气簧车型。但板簧异响是一个长期存在的技术难题。经过多年的研究,本文归纳总结了相应的探测方法与改进措施。

2 异响探测方法

车辆异响成因复杂,因此准确定位异响源是解决问题的关键。目前的异响探测手段主要分为仪器检测与人工判断两类。本章介绍频谱探测法、听诊器探知法及控制变量法三种常用方法,分别阐述其原理、操作步骤及适用场景。

2.1 频谱探测法

使用数据采集器配合麦克风和振动加速度传感器对车辆异响声音进行采集与分析^[3-4]。将麦克风固定在车内噪声明显的位置,并将传感器固定在可能产生噪声的位置(如板簧包耳、板簧单片端部、吊耳和桥壳等处),具体固定位置如图1所示。设备准备完毕后,将车辆开至反馈出现异响的路况,复现车辆异响状态并进行记录。

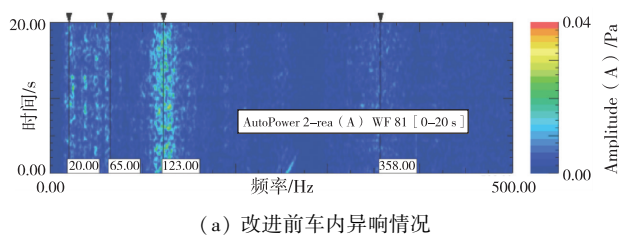


(a) 麦克风固定

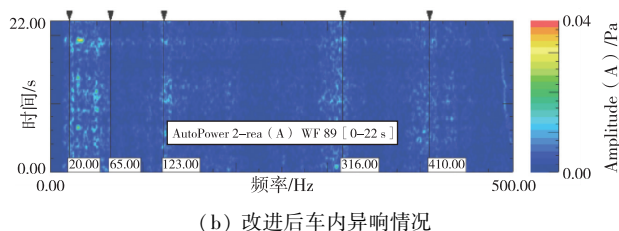
(b) 传感器固定

图1 麦克风与传感器固定示意图

以某型客车为例,采用频谱探测法对车内异响信号与板簧吊耳振动信号进行采集与分析处理,得到图2(a)与图3(a)。通过对比两幅图可以发现,车内感知噪声与板簧吊耳振动频率一致,均处于123 Hz附近。同步回放并对比麦克风采集的空气声与振动传感器在吊耳处采集的结构振动信号,若两者在时频域上的主要特征(如峰值频率、出现节奏)高度匹配,则可判定该异响源于板簧吊耳处的结构振动。

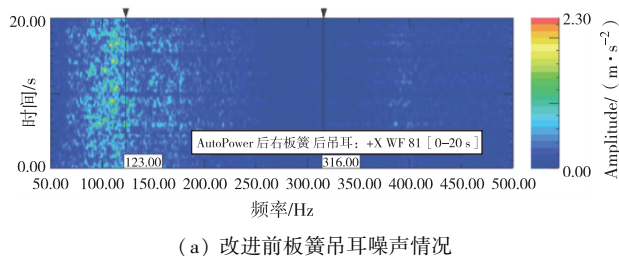


(a) 改进前车内异响情况

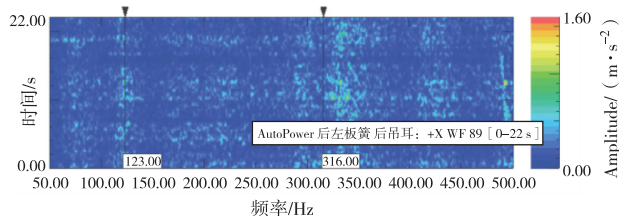


(b) 改进后车内异响情况

图2 车内异响对比图



(a) 改进前板簧吊耳噪声情况



(b) 改进后板簧吊耳异响情况

图3 板簧异响对比图

判定该车异响源后,针对板簧吊耳采取以下改进措施:优化吊耳结构,在两块吊耳夹板之间增加加强筋,提高吊耳的刚性。完成优化后重新采集噪声数据,得到图2(b)与图3(b)。对此类异响问题,通用的改进措施通常包括:优化吊耳与车架连接处的隔振设计、在板簧片间增加减摩垫片、调整板簧端部包耳间隙等。若异响消失则问题解决;若异响仍存在则重复上述步骤,逐一排查异响源。

该方法的优点在于能够高效、精准地溯源异响,实现定向排查,且检测数据可存储用于后续对比分析。其缺点在于需依托专用设备并由专业人员操作,实施门槛较高。因此,该方法主要适用于主机厂及专业检测机构。

2.2 听诊器探知法

使用异响听诊器排查异响源时,首先将夹头夹持

在可能产生噪声的部位(见图4),再将线束引入车内并与听诊器连接。设备准备完毕后,将车辆行驶至出现异响的路段,使异响状态复现。通过旋钮选择并播放不同夹头的声音,对比耳麦中声音与车内异响的声音类型;若两者一致,即可判定该位置为异响源;若不一致,则重复以上步骤,直至确定异响源。

该方法的优点在于设备易于采购且操作简便,能快速定位异响源。其缺点在于无法记录数据以供后续对比分析,且高度依赖操作者的即时判断。因此,该方法更适用于修理厂及售后服务场景。

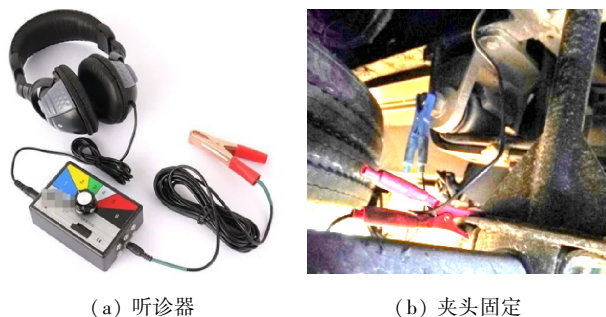


图4 汽车异响听诊器及使用示意图

2.3 控制变量法

控制变量法的具体实施步骤如下:首先基于经验初步判断异响的可能来源。随后,对可疑部位进行目视检查,寻找是否存在掉漆、划痕、凹陷、锈蚀等痕迹。有痕迹的部位即为需要进一步验证的特定部位。为确认异响源,可对特定部位采取喷水、喷机油、涂抹润滑脂等临时措施进行处理,并在异响路况下复测,通过对比处理前后异响的变化来定位问题。若通过以上步骤仍无法锁定异响源,则需采用2.1与2.2节所述的专业工具进行精确检测。

该方法的优点在于仅需喷壶、机油、润滑脂等简易工具,实施便捷、成本极低;其缺点在于高度依赖操作者的个人经验与主观判断,存在误判或遗漏的风险。因此,在专业设备受限时,可将该方法作为应急排查方案使用。

3 原因分析与改进措施

某客车板簧悬架的整体构成如图5所示。本文聚焦于板簧本体与其固定件之间产生的异响问题。基于装配关系与运动机理分析,该异响主要源自以下三个存在相对运动的区域:板簧与板簧座连接处、板簧片间,以及板簧根部与盖板底板之间。

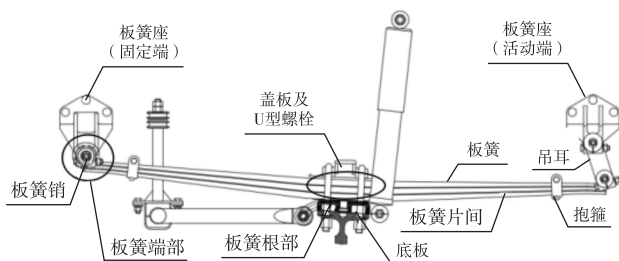
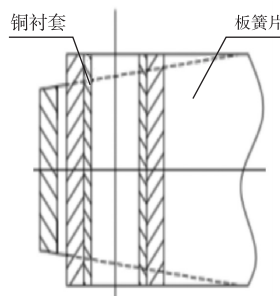


图5 板簧悬架构成视图

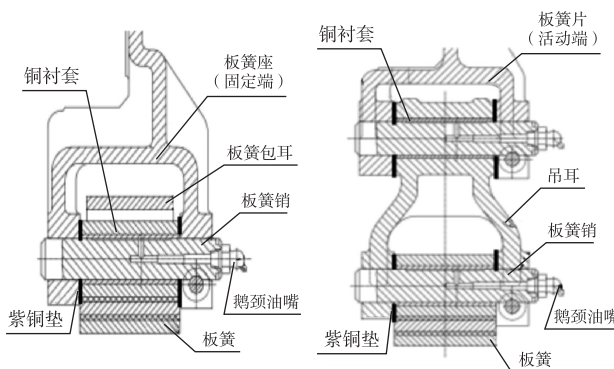
3.1 板簧与板簧座连接点

传统板簧端部结构中,板簧与板簧座的连接处采用铜衬套^[5](见图6)。而端部其余连接部位均为金属件直接接触,此区域共有4处可能引起异响的点:

1) 异响点1位于板簧与板簧座接触面。板簧端部绕板簧销转动时,板簧与板簧座接触面摩擦产生噪声。



(a) 板簧单品



(b) 板簧固定端

(c) 板簧活动端

图6 铜衬套板簧端部剖面图

2) 异响点2位于板簧与板簧座开口处。板簧与板簧座开口留有小间隙,导致车辆行驶引起板簧横向窜动产生敲击声。

3) 异响点3位于板簧与板簧销接触面。板簧销内部黄油未及时加注,且原有油脂逐渐挥发,导致润滑失效,进而使板簧与板簧销发生干磨并产生异响。

4) 异响点4位于板簧座与板簧包耳圆弧面之

间。板簧座与板簧包耳间隙过小,当板簧受力变形时,二者相互碰撞产生异响。

第一轮改进仅针对异响点1和2进行处理,未涉及异响点3和异响点4进行处理,具体措施如下:在板簧端部两侧增加紫铜垫^[6],如图6(b)所示。该方法的优点是可减少板簧与板簧座之间的间隙,从而起到缓冲隔振的作用。其缺点在于装配困难,仍存在金属摩擦,降噪效果不佳。

因第一轮降噪效果不佳,对板簧的端部结构进行第二轮优化^[7-9],如图7所示。本轮对4个异响点都进行了处理,具体措施如下:

1) 异响点1的改进方法是将原本的铜衬套更换为复合衬套,通过橡胶隔离板簧端部旋转时金属间的摩擦,避免金属直接接触。

2) 异响点2和3的改进方法是将板簧销更改为螺栓,利用隔套将复合衬套内缸套与板簧座(吊耳)锁紧,使二者固连,从而避免窜动或摩擦。该结构为免维护状态,无需定期加注黄油。

3) 异响点4的改进方法是重新设计包耳与板簧座,加大板簧座尺寸,使两者之间留有10 mm以上的间隙。受异响点1改进方案影响,板簧端部更换为复合衬套后板簧包耳外径增大,包耳与板簧座的间隙需要重点校核。

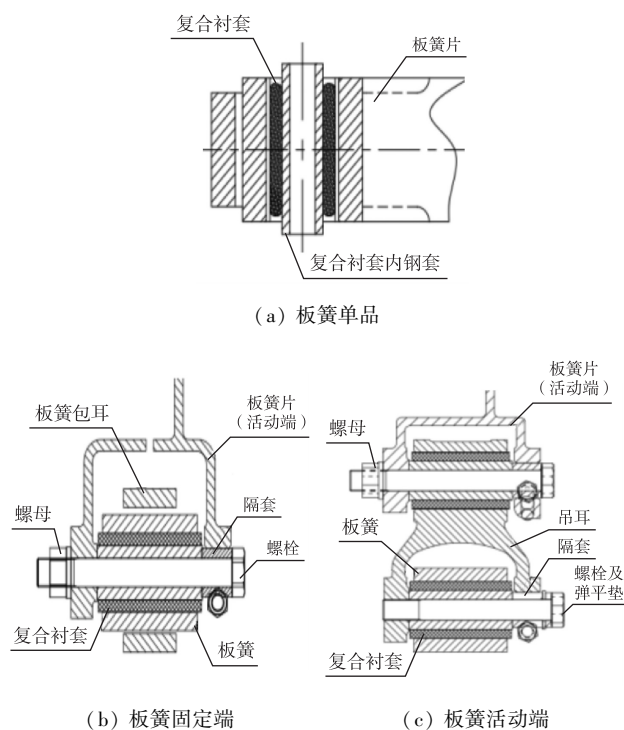


图7 复合衬套板簧端部剖面图

经过两轮改进后,原有异响点1~4已基本消除。但受板簧端部结构变更影响,导致新增异响点5与异响点6:

1) 异响点5位于板簧片侧面与板簧座之间。由于板簧第一、二片与板簧座横向间隙过小,当板簧受力时,复合衬套发生变形,板簧片侧面与板簧座摩擦并产生噪声。该异响点的改进方法是增大板簧片与板簧座之间的间隙,要求第一片与板簧座间隙大于8 mm,第二片与板簧座间隙大于20 mm。

2) 异响点6位于复合衬套内缸套、隔套、板簧座三者的接触面。因螺栓拧紧力矩不足,三者未形成固连状态,导致板簧受力时彼此间产生相对运动,从而发出噪声。该异响点的改进方法是选择合适的拧紧力矩,并定期复检,确保螺栓锁附牢靠^[10]。

对于板簧端部结构紧凑、夹头不易夹紧的情况,建议采用频谱探测法与控制变量法相结合,同步排查异响来源。

3.2 板簧片间

3.2.1 多片簧

常用多片簧片数为7~13片,各片呈阶梯形排布,片间紧密贴合,属于等截面簧,如图8所示。板簧片间有4处可能引起异响的点:

1) 异响点7位于板簧各片端部。当车辆经过抛跳路面时,板簧片间因瞬间分离后再贴合而产生拍击声。

2) 异响点8位于板簧与抱箍之间。车辆受到横向力或垂向跳动时,板簧片横向、垂向的运动与抱箍产生敲击声。

3) 异响点9位于板簧包耳与卷耳之间。板簧包耳与卷耳间隙过小,板簧受力变形后二者碰撞产生噪声。

4) 异响点10位于板簧的各片接触面。板簧受力变形,引起片与片之间的往复移动,从而产生摩擦噪声。

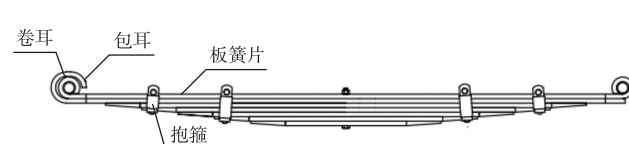


图8 传统多片簧

异响点7的改进方法是在板簧接近端部区域增加抱箍,以减少板簧拍击幅度,降低拍击声。抱箍固定点要避开板簧高应力区域,降低板簧断裂风险。在

部分车型结构中,抱箍与转向拉杆、车架等零件的间隙小于 15 mm,存在干涉风险。对此,需通过调整抱箍位置或形状进行避让;若无法实现有效避让,则需考虑取消该抱箍。无论采取何种方案,都必须对其可行性与安全性进行严谨校核。

增加抱箍后会产生异响点 8。该异响点的改进方法是在抱箍与板簧邻近的区域(侧面、上方)增加胶套,起到缓冲降噪的作用,如图 9 所示。

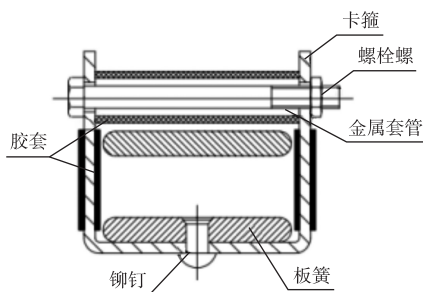
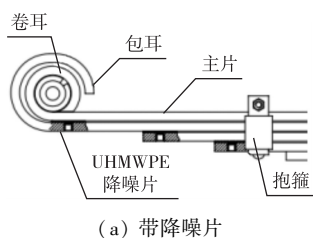


图9 带胶套的板簧抱箍

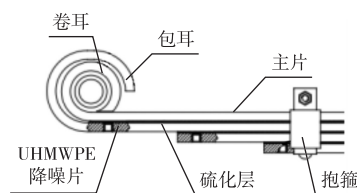
异响点 9 的改进方法是在设计时板簧包耳与卷耳间留大于 5 mm 的间隙。

异响点 10 经过两轮改进,第一轮改进是在板簧片端部增加超高分子量聚乙烯(Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE)降噪片^[7](如图 10(a)所示),该材料因具有出色的耐磨性、自润滑性、耐腐蚀性、抗冲击性等特点而被选用。但实车验证发现,UHMWPE 降噪片(见图 11(a))降噪效果一般,与板簧片间仍有摩擦声;使用一段时间后,该降噪片被磨薄,降噪效果明显下降,需定期更换;且在无降噪片的区域,板簧片间仍会相互接触摩擦。综合来看,该方案效果有限,未能彻底解决异响问题。

第二轮改进是在板簧片中间区域增加一层硫化层,将两片板簧完全隔离(如图 10(b)所示)。该改进方案在样车耐久试验前期效果良好无噪声,但 UHMWPE 降噪片(见图 11(b))被磨薄后噪声逐渐显现,需定期更换降噪片,若更换不及时会造成硫化层破损、脱落,从而失去隔离作用。此改进方案可行,但需定期检查并及时更换降噪片。



(a) 带降噪片

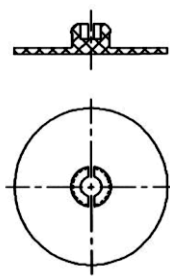


(b) 带降噪片及硫化层

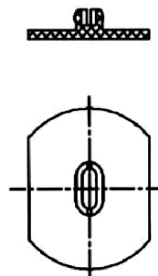
图10 多片簧片间改善方案

此外,尝试采用更厚的天然橡胶(Natural Rubber, NR)降噪片,如图 11(c)所示。但增加 NR 降噪片后板簧片间距过大,板簧总成厚度无法满足使用需求,故此改进方案不可行。

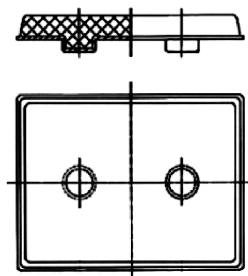
综合两轮改进情况,多片簧片间摩擦产生的异响尚未得到彻底解决。推荐采用板簧端部增加 UHMWPE 降噪片、板簧中间区域增加硫化层的方案,同时需定期更换降噪片。



(a) 适用于轻、小负荷工况的
UHMWPE 降噪片



(b) 适用于中、重负荷工况的
UHMWPE 降噪片



(c) 少片簧所用的 NR 降噪片

图11 不同应用场景下的降噪片形状与材料

3.2.2 少片簧

常用少片簧片数为 3~5 片,每片长度相等,属于变截面簧。片与片之间通过端部的降噪片支撑,中间区域悬空,其改进后端部结构如图 12 所示。分析表明,少片簧在片间接触部位可能引发异响的点共有 4 处。异响点位的分布及其产生机理与 3.2.1 节所述多片簧情况完全对应,少片簧异响点 7、8、9 的处理方式亦与之相同,此处不再赘述。

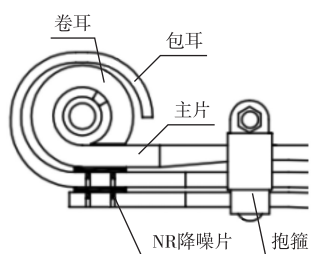


图 12 改进后少片簧端部

异响点 10 的改进方法是调整降噪片材料及尺寸。改进前的降噪片为 UHMWPE 材质,呈椭圆片状,厚度为 3~4 mm,如图 11(b)所示;改进后的降噪片则为 NR 材质,呈矩形片状,厚度为 8~12 mm^[7-8],如图 11(c)所示。该降噪片通过自身变形吸收并消除板簧片间的往复移动,从而降低噪声,也相应延长了维护周期。

改进后的噪声测试结果表明,少片簧的片间噪声控制效果优于多片簧。因此,若对舒适性要求较高,应优先考虑采用少片簧方案。

实际排查中,片间噪声通常较易判断,可先采用控制变量法(如喷水或喷油)进行定位,必要时再借助频谱或听诊器设备精确定位。

3.3 板簧根部与盖板底板

板簧根部采用图 13 所示的装配结构,该结构由上盖板、板簧、下底板、工字梁组成,通过 2 根 U 型螺栓锁附为一体,形成固连系统。经分析发现,该结构存在 2 处可能引起异响的部位,具体如下:

1) 异响点 11 位于板簧根部与盖板、底板的接触面。板簧上下摆动时,根部会与盖板、底板边缘(尖角)接触摩擦,进而产生异响;反复摩擦会造成应力集中,易导致板簧早期断裂。

2) 异响点 12 位于盖板、板簧、底板、车桥的接触面。当 U 型螺栓力矩不达标时,板簧受力会导致盖板、板簧、底板、车桥之间产生松动,相互摩擦产生异响。

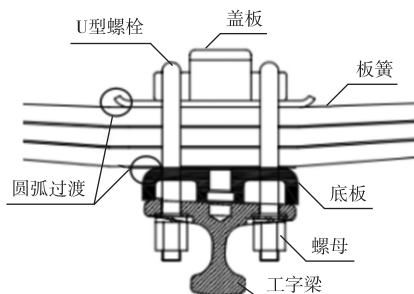


图 13 板簧根部结构

异响点 11 的改进方法是将盖板、底板与板簧的接触面端部改为圆弧过渡(无尖角),以确保板簧上下摆动时与盖板、底板平滑接触、避免碰撞,同时延长板簧使用寿命。异响点 12 的改进方法是设定合理的拧紧力矩并采取有效的防松措施,定期复查力矩,确保零件不松动。

针对板簧根部结构紧凑、夹头难以夹紧的问题,建议采用频谱探测方法,可将传感器粘贴于可疑点进行检测。

4 结束语

本文围绕客车板簧异响问题展开研究。在阐述板簧悬架配置必要性及其使用问题的基础上,明确了板簧异响的研究方向。通过介绍频谱探测法、听诊器探知法及控制变量排除法三种异响源探测方法,系统分析了板簧异响的产生机理。从板簧端部固定点、板簧片间及板簧根部固定三方面入手,分别采取结构优化,在金属接触运动部件间增加橡胶材料缓冲,合理选取零部件配合间隙及拧紧力矩等措施。经多轮改进验证,异响问题得到有效改善,但部分工况仍需持续关注并优化。本文的研究思路可为后续客车板簧设计与改进提供参考。

参考文献:

- [1] 王霄锋. 汽车底盘设计:2 版[M]. 北京:清华大学出版社, 2018:280-281.
- [2] 陈耀明. 汽车悬架论文集[M]. 苏州:苏州大学出版社, 2012:2-3.
- [3] 刘祖斌,曹春雨,刘振宏,等. 汽车减振器低温异响问题研究[J]. 汽车科技,2020(2):15-20.
- [4] 王珂,黄建刚,张忠东,等. 纯电动客车后桥异响问题分析与改进[J]. 客车技术与研究,2023,45(5):31-33.
- [5] 张振,郑琦巍,罗勇,等. 客车钢板弹簧悬架异响问题改进方案[J]. 客车技术与研究,2017,39(6):17-18.
- [6] 刘善鐸. 客车少片钢板弹簧的异响及解决方法[J]. 客车技术与研究,2006,28(6):29-30.
- [7] 张跃军,张天阳. 客车板簧悬架降噪设计及降噪材料选择[J]. 汽车工艺与材料,2020(1):50-56.
- [8] 付建朝,旷彪,姚美旺,等. 少片簧悬架异响分析及改进[J]. 客车技术与研究,2017,39(4):22-24.
- [9] 陈毅超,张鹏,陈青生,等. 纯电动客车板簧悬架异响分析及改进[J]. 客车技术与研究,2020,42(3):28-30.
- [10] 潘青龙. 钢板弹簧异响的分析[J]. 汽车与驾驶维修(维修版),2019(5):84-85.