

# 声发射灵敏度漂移问题分析技术的研究

杜勤\* 祁金秋 邱小矿 马增敏 李宁  
北京北方车辆集团有限公司 北京 100072

**摘要:** 在装甲车部件里, 运行不良的滚动轴承、扭力轴和侧传动齿轮都会产生声发射信号。声发射波是一种微弱信号, 在识别过程中需要进行光电转换和电信号放大, 在实际使用中, 光纤环声发射传感器在检测装甲车部位的裂纹时, 光纤环声发射传感器存在灵敏度不稳定现象, 该现象会严重影响损伤检测的响应精度和准确性。

**关键词:** 光纤环 声发射系统 灵敏度漂移

**DOI:** <https://doi.org/10.37155/2717-5197-0308-28>

## 引言

声发射灵敏度是指所检测到的声发射信号波形的最大振幅值, 通常用dB表示, 其与电压的换算公式为  $Y(dB) = 20Lg \frac{X(mv)}{0.1mv}$ 。光纤环声发射传感器由单模光纤紧密盘绕在骨架上构成, 用来检测声发射波信号的传感器。对于光纤环声发射传感器来说, 当在一个长期的检测环境中, 传感器会出现不稳定的现象, 导致其所在接收相同的激励信号下会产生不同幅值的检测信号, 进而使得传感器的灵敏度发生漂移, 这种漂移会导致检测的响应精度和准确性, 因此解决灵敏度漂移问题至关重要。

## 1 基本原理

### 1.1 零差法声发射系统解调原理

如图1所示基于零差法的光纤环声发射检测系统使用的是马赫-曾德干涉原理进行声发射信号检测。激光光源发出的窄带光经过耦合器进入参考臂和传感臂, 传感臂由于感受声发射信号, 其相位会发生变化。而参考臂不放置于声发射场中, 不感受声发射信号, 相位不变, 两臂中的光在第二个耦合器中发生干涉, 输出的光信号即为干涉后的光信号, 它的光功率值会反应参考臂和传感臂的相位差<sup>[1]</sup>。

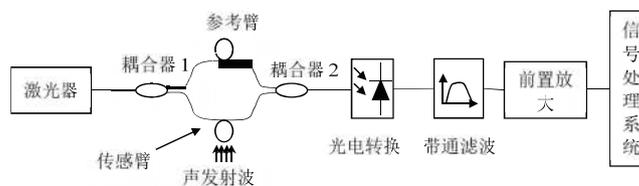


图1 马赫-曾德干涉系统结构图

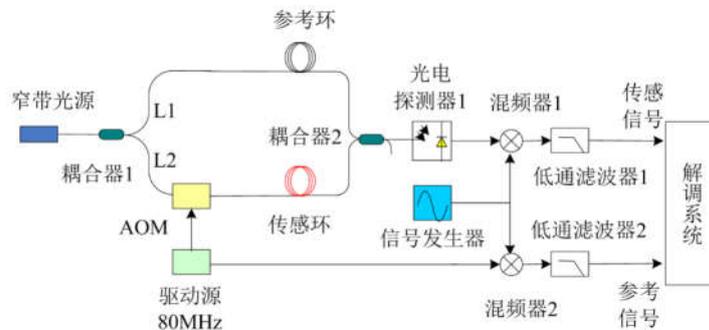


图2 外差检测系统原理图

\*通讯作者: 杜勤, 1965.12, 男, 汉族, 内蒙古赤峰, 北京北方车辆集团有限公司, 正高级工程师。研究方向: 力学性能、金相分析、无损检测和质量可靠性。

## 1.2 外差法声发射系统解调原理

外差法系统引入了声光调制器来对传感臂信号进行移频,以避免外部一些低频噪声的干扰。图2为外差法的解调系统原理图。窄带光源产生激光经耦合器1分成两路,一路为参考臂L1,一路为传感臂L2。参考臂接入参考光纤,不感受声发射信号,传感臂中先接入声光调制器,使光的固有频率发生80MHz的频移,移至更高频段,然后接入光纤环声发射传感器,感受声发射信号,其中AOM由AOM驱动器控制<sup>[2]</sup>。由参考臂和传感臂出来的光在耦合器2发生拍频干涉,输出的光接入光电探测器进行光电转换,此时产生的电信号为高频信号,对于后续的采集系统来说,采样频率必须更高,所以将此信号与信号发生器产生的频率的信号进行混频,后经过低通滤波,滤除高频信号,保留较低频率的含有声发射信息的传感信号,以达到降低采样系统频率的要求。信号包含频率不同的两部分,利用低通滤波器滤除高频信号,保留较低频率的信号,称之为传感信号<sup>[3]</sup>。

## 2 研究路线和内容

### 2.1 光源稳定性对灵敏度漂移问题的影响

激光器的输出光强会存在微小的起伏现象,描述激光器这一性能的指标即为光源的相对强度噪声。激光器一般存在固有的弛豫振荡,从而带来强度噪声。影响弛豫振荡频率的因素有抽运功率、腔损、谐振腔有源部分长度、谐振腔总长度等,改变上述参数不能从根本上消除弛豫振荡,但会对弛豫振荡的频率有一定影响。针对上述因素,在选择光源上,需要窄线宽的激光器,其强度噪声要求比较低,相位噪声也是越小越好。在实验中我们发现线宽小于200kHz,强度噪声低于 $-140\text{dB}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的激光器可以满足要求,另外受相位噪声的影响,两干涉臂的臂长差不宜过长,受光电转换模块的输入光功率的限制,光源输出光功率分配到每一路光纤环传感器的功率大小不能超过 $10\text{mW}$ <sup>[4]</sup>。

### 2.2 两臂臂长差对灵敏度漂移问题的影响

根据原理可知噪声不仅和窄带激光器的线宽有关,还与两臂光纤长度差有关。光纤折射率 $n$ 取为1.465,光速 $c$ 取为 $3.0\times 10^8\text{m/s}$ ,激光器线宽 $\Delta\nu$ 取为200kHz,将频率 $\Delta L$ 保持不变,取典型的10MHz,长度差值作为自变量,从0.1m至5m变化。

随着光纤长度差值的增加,噪声功率谱密度增大,因此若要想减小噪声水平,需进一步减小光纤长度差值 $\Delta L$ 。选用Santec公司TSL-510型可调谐窄带激光器,保持输出波长1550nm窄带光、输出功率为0.5mW,激光器的输出线宽设置为200kHz。选取传感臂和参考臂的光纤长度差值约为5m、1m、0.1m三个不同的等级,在相同的实验环境中探究检测系统的噪声水平。检测系统记录了一段没有施加信号时的数据,三个不同光纤长度差值情况下的噪声水平:

当两臂的光纤长度差值约为5m时,最大噪声水平达到28.27mV;当两臂的光纤长度差值约为1m时,最大噪声水平达到24.12mV;当两臂的光纤长度差值约为0.1m时,噪声水平达到11.84mV。对比三个噪声结果,光纤长度差值越小,噪声水平越小,因此在实际应用中,要尽量减小两臂光纤的长度差值以获得较小的系统噪声从而控制灵敏度漂移<sup>[5]</sup>。

### 2.3 外界环境扰动对灵敏度漂移问题的影响

零差法声发射系统所探测到的噪声都是一些相对低频的信号,该信号极有可能是外部环境干扰所造成的,因此考虑在光电探测器里加入高通滤波器来对低频噪声进行滤除,以此提高系统的稳定性。

### 2.4 声光调制器对灵敏度漂移问题的影响

根据外差解调系统的原理,在传感臂一路中,加入了声光调制器用以实现光频率向更高的频率移动。声光调制器由驱动源通过电信号来实现驱动,驱动源发出80MHz电信号,施加于声光调制器,若声光调制器完全根据驱动信号进行转换,将产生80MHz的移频,由于声光调制器存在频率起伏,导致移频量会在80MHz左右变化。若这个变化的移频量属于低频信号,那么将此次移频变化可以看作低频扰动引入的随机噪声来处理;若此变化的移频量频率较高,达到几十kHz量级,那么就会影响检测系统。在参考臂的参考光纤环之前和传感臂的光纤环传感器之前分别接出一路分支,两路分支汇入耦合器内发生干涉,然后利用光电探测器转换成电压信号,再和信号发生器产生的信号混频、低通滤波,最终实现参考信号的获得<sup>[6]</sup>。

## 3 结语

通过研究光纤环声发射系统的基本原理,总结得到了可能会引起声发射灵敏度漂移的原因,并对每个原因进行分

析研究提出了相应的改进措施,通过实验成功验证了改进后的光纤环声发射系统能够较好的抑制噪声,能够在相同激励信号下得到相同幅值的声发射信号。

**参考文献:**

- [1]王银玲,李华聪.声发射检测仪多路数据采集模块[J].仪表技术与传感器,2015(06).
- [2]薛连莉,沈玉芑,宋丽君,陈效真.2019年国外导航技术发展综述[J].导航与控制,2020(02).
- [3]乔学光,邵志华,包维佳,荣强周.光纤超声传感器及应用研究进展[J].物理学报,2017(07).
- [4]王冬华,许智勇.基于FPGA的多通道高精度AD采样系统设计[J].数字技术与应用,2019(05).
- [5]周俊贤,吕中荣,汪利.基于灵敏度分析和不同数据融合的损伤识别方法[J].振动与冲击,2019(18).
- [6]张洪润,张亚凡主编,传感技术与实验[M].清华大学出版社,2005.