

扭力轴在线监测技术研究

祁金秋 杜勤 李宁 陈娟丽 高美娜
北京北方车辆集团有限公司 北京 100072

摘要: 扭力轴是车辆能否正常运行的核心功能部件, 目前没有相应的监测技术手段对扭力轴的性能进行评价, 时常出现因为扭力轴损坏导致车辆出现故障无法行进, 不能及时判定部件损伤原因, 只能更换部件。本文通过对扭力轴失效机理进行分析研究, 以光纤声发射传感技术与小波分析等现代信息处理技术相结合, 进行车辆扭力轴损伤监测与评价技术研究, 从而提高车辆使用可靠性、安全性, 把损伤带来的损失降到最低水平。

关键词: 扭力轴; 声发射; 小波分析

引言

扭力轴的主要作用是提供扭转弹性, 通过其扭转弹性抵抗车体在行驶过程中产生的侧滚振动。悬挂装置是将车体与负重轮相连接的所有部件的总称。地面的高低不平会对高速车辆的车轮产生很大的冲击力, 为了吸收这种冲击能量以免车体内机件损坏和撞伤人员, 高速车辆的悬挂装置中都装有弹性元件^[1]。

履带车辆悬挂装置的弹性元件就是扭力轴。它的主要优点是结构简单、工作可靠、重量轻、所占车内空间小、制造工艺成熟、装配维修比较简单。扭力轴的主要作用是: 支撑车体; 传递地面给车体的力; 缓和车辆在行驶时, 由车轮传给车体的冲击力; 保证车辆在不平路面上高速行驶时的平稳性和乘员的舒适性^[2]。

1 扭力轴失效机理分析

扭力轴在车辆运行过程中其主要承受非等幅交变扭矩、附加弯矩和冲击载荷交替作用, 扭力轴是车辆悬挂系统的关键零件, 由于其本身的体积小、蓄能大、工况恶劣, 因此经常发生断裂, 断裂是造成装甲车辆发生故障的重要原因之一。

在交变载荷作用下在扭力轴微观结构薄弱处产生裂纹源并扩展直至断裂, 典型断裂为扭力轴轴线成45度的斜断面, 即典型的脆性材料扭转断面, 如图1所示。



图1 典型案例断面宏观照片

2 光纤声发射传感器研制

光纤声发射传感器是由单模光纤紧密盘绕在骨架上

而构成的, 用来检测声发射波信号的传感器。作为传感器的光纤感受到声发射信号的应力波, 在应力波作用下发生拉伸或压缩, 从而导致传输在其中的光的光程发生改变, 进而引起传感臂和参考臂之间的相位差受到声发射信号的调制, 光纤声发射传感器即利用这种声发射信号作用于传感光纤内传播光波的相位变化, 继而通过对光波相位干涉的变化来探测声发射信号^[3]。

光通过一段光纤后, 其相位公式为:

$$\phi = \beta L = \frac{2\pi n}{\lambda} \cdot L \quad (1)$$

其中, β 是光纤的传播常数, L 为光纤的长度, n 为光纤折射率, λ 为光的波长。

光纤声发射系统的灵敏特性关系到检测能力。系统的灵敏度越高, 就越能检测到微小变化的声发射信号。如果一个结构件在产生裂纹、裂纹扩展, 直至断裂的过程中, 产生的信号能量变化较小, 就需要提高检测系统的灵敏度^[4]。

有骨架的设计方案可以有效提高传感器的灵敏度。一方面, 骨架承担着将光纤传感器进行固定的任务, 因为光纤是一种十分敏锐的传感器, 除了外界信号会引起光纤内容相位的变化之外, 光纤本身的移动, 弯折或者受压都会导致光纤本身的性质发生变化, 进而导致相位发生变化, 所以通过骨架将光纤进行固定后, 防止光纤的松动或位移等非信号引起的额外噪声的影响, 增强了光纤的信噪比^[5]。另一方面, 在选择骨架的材料的时候, 应该尽量使骨架的谐振频率与待测声发射信号的频率设计的更为贴近, 使得骨架能够对待测信号更加的敏感, 当感受到外界信号后, 骨架本身也产生呼应的震动, 由于光纤缠绕至骨架上, 故而光纤会完整良好的感受到来自骨架的振动, 这样间接的增强了信号的幅度, 从而进一步增强了传感器的灵敏度。选择谐振频率与待测信号的频率越贴近, 骨架的振动就越为明显, 传感器的灵敏

度就越高。

材料选择好后,骨架本身的形状实际上对传感器的灵敏度也有很大的影响。要求外径尽量小,贴近于30mm的预定尺寸,内径则尽量大,使骨架的厚度更小,就会使传感器更为灵敏。

考虑到光纤声发射传感器是将光纤绕制成环而成,而光纤如果被弯曲成较小的环状,必然存在弯曲损耗,因此,选用了对于弯曲不敏感(即弯曲半径较小)的光纤,以减少光纤的弯曲损耗。利用武汉长飞公司型号为ITU-T G657.B3的弯曲不敏感单模光纤,制作了光纤长度分别为5m、10m、15m的光纤声发射传感器,其中传感器的直径为20mm,骨架材料为聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃),之所以选用有机玻璃,是因为该材料传播信号较好,且易于获得与加工。

将光纤声发射传感器和常用的Physical Acoustics Corporation(PAC)公司型号为R15压电陶瓷声发射传感器分别利用凡士林分别粘贴在铝板上,光纤接入搭建的检测系统,R15型传感器连接前置放大器(放大倍数为工程中常用的40dB,即放大100倍),然后接入PAC公司的PCI-II检测系统。在光纤声发射传感器和R15压电陶瓷声发射传感器中间等距离的位置,用凡士林将压电激励探头粘贴在铝板上,探头型号为PAC公司的WS α 型。信号发生器产生150kHz(为典型的声发射信号频率)的正弦信号驱动WS α 压电激励探头,通过调节输出信号的电压值来模拟不同强度的声发射信号,利用检测信号电压值与激励探头输出信号电压值之比,来表示传感器的灵敏度,记为mV/V。输出电压值分别为1.0V、1.5V、2.0V、2.5V、3.0V、3.5V、4.0V、4.5V。

通过断铅实验对骨架材料与直径,光纤缠绕的长度进行了探究,最终得出的结论是骨架材料采用PE材料,骨架直径为20mm,高为15mm,缠绕光纤长度为15m,光纤缠绕层数为4层时光纤声发射传感器的灵敏度较高,且与现有的一般PZT传感器尺寸接近。

3 声发射全波形信息采集系统的扭力轴损伤监测测试

1) 测试准备

用疲劳试验机对扭力轴进行扭转,在靠近扭转端和靠近固定端位置各布置两个光纤环声发射传感器和两个压电陶瓷声发射传感器,压电陶瓷采用3M胶带十字环绕固定,光纤环上表面和侧面包裹隔音棉,以减少环境噪声的影响,采用绑带绑扎固定,传感器之间间隔为70mm,最边缘的传感器距花键110mm,扭转角度为90°,载荷施加周期为45r/min,后续放慢为30r/min。每隔30分钟分割一个文件,传感器布置如图2所示。



图2 传感器布置图

2) 测试结果

通过八通道光纤环声发射全波形信息采集系统进行分析,前四个通道即CH1到CH4接入光纤环声发射传感器,后四个通道即CH5到CH8接入压电陶瓷声发射传感器。如图3所示为八个通道在断裂前200s左右采集到的波形,可以看到3、4通道相比1、2通道波动大,5、8通道相比6、7通道波动大,会对信号观察造成干扰,因此采用1、2、6、7四个通道查看波形。

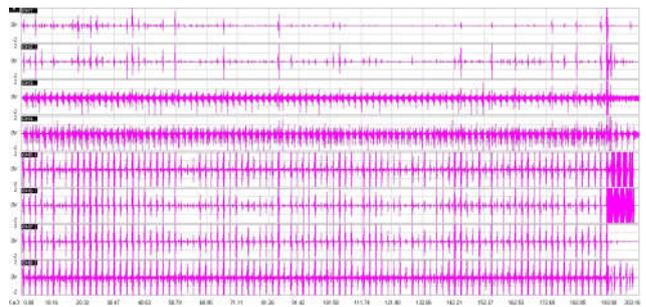


图3 八个通道波形图

测试断裂前2000s采集到的扭转信号幅值较小,使得损伤声发射信号更容易观察到。

测试中检测到损伤声发射信号较多,在断裂前2500s至断裂前1300s阶段无明显损伤声发射信号,断裂前1230s附近检测到第一个幅值较大的损伤声发射信号。

在断裂前900s至断裂前600s之间检测到约30个损伤声发射信号,且信号幅值较之前有几百mV到1V的增加,且有单个的也有多个出现的损伤声发射信号,如图4所示。从图中可以看出,声发射信号幅值增大,发生的频率也加快,说明扭力轴内部损伤开始增加。

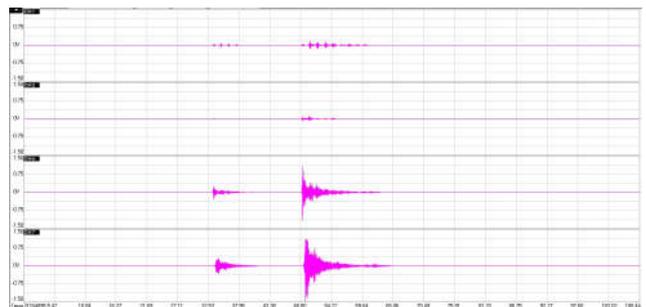


图4 断裂前900至600s间三处声发射信号波形图

测试中扭力轴损伤声发射信号在断裂前幅值增大,断裂信号与其在幅值上差别不大,在波形形状等方面能明显区分。

最终扭力轴断裂在固定端附近,且断裂面如图5所示,裂口较多,这与实验中检测到损伤声发射信号较多相对应,在扭转中扭力轴累积了较多损伤最终断裂。且从波形发现声发射信号均先被靠近固定端的1、2、5、6传感器检测到,与断裂位置相对应。



图5 扭力轴断口形状

纵观整个测试,可以发现不断扭转下,扭力轴累积损伤至断裂的各个阶段伴随着损伤声发射信号数量逐渐变多、幅值逐渐增大、分布逐渐密集的变化。我们认为这种损伤声发射信号的变化规律可以初步预测扭力轴的损伤断裂。

3) 试验结论

对于声发射全波形信息采集系统,当声发射信号非常微弱时,可以利用声发射信号与扭转产生信号幅值持

续增加两个特征来初步判断扭力轴接近断裂;当声发射信号很多时,可以利用声发射信号的数量、幅值、密集程度的变化来表征损伤的加剧,以此初步判断扭力轴接近断裂。

结语:通过声发射全波形信息采集系统可以实现扭力轴在线监测,及时发现车辆运行过程中扭力轴的裂纹,当裂纹达到一定值时,监测系统发出警告,及时告知故障,避免车辆带伤上路,造成损失。

参考文献

- [1]王万俊,装甲车发动机故障诊断系统的研究.武汉理工大学,硕士(专业:控制科学与工程)[D],2009.
- [2]周国峰,履带车辆重要零部件失效分析与寿命预测.北京工业大学,博士(专业:材料加工工程)[D],2007.
- [3]魏鹏等,一种基于光纤环声发射的扭力轴健康评估方法CN202310400268.3[P].北京航空航天大学,2023.
- [4]周蕊.粉末冶金压坯残余应力与裂纹损伤研究[D].天津大学,2013.
- [5]李辉,赵永庆,曲恒磊, et al.损伤容限型TC4-DT合金疲劳裂纹扩展速率的数学描述[J].钛工业进展,2007(4):31-34.
- [6]马超,方剑青,李红军,等.基于声振分析的结构状态检测研究[C]//第24届全国振动与噪声高技术及应用会议,北京:中国振动工程学会,2011.