Vol. 35 No. 3 Mar. 2018

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.03.007

装甲车变速箱滚动轴承故障仿真分析

宋一龙,高 鑫,王智勇,林 董

(中国人民解放军陆军步兵学院石家庄校区,河北石家庄050000)

摘要:为解决变速箱轴承故障不能及时准确诊断这一问题,将刚柔耦合动力学仿真技术应用到变速箱轴承故障诊断中。首先对轴承双冲击理论进行了简要分析,然后根据装甲车变速箱轴承实际参数建立了基于 ADAMS 的轴承刚柔耦合动力学模型,对4种不同尺寸的轴承外圈故障进行了仿真,对轴承外圈故障进行了分析得到了不同尺寸故障下的振动信号的时频特性。通过实验分析验证 了变速箱轴承刚柔耦合模型建立及仿真过程的正确性。仿真及实验结果表明:随着故障尺寸的增大,时域信号中出现双冲击现象, 根据时域信号中双冲击的时间间隔就可以判断所对应的轴承外圈故障的大小。该结果为及时掌握装甲车变速箱轴承故障进展与 实现装甲车的安全运行提供了帮助。

关键词:装甲车;滚动轴承;刚柔耦合;故障分析 中图分类号:TH133.33;TH113 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)03-0251-05

Simulation analysis of fault of rolling bearing for gearbox of armored vehicle

SONG Yi-long, GAO Xin, WANG Zhi-yong, LIN Dong

(Shijiazhuang Campus, Army Infantry Academy, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: In order to solve the problem that the bearing of transmission can not be diagnosed in time and accurately, the rigid flexible coupling dynamics simulation technology was applied to the fault diagnosis of gearbox bearing. Firstly, the theory of double impact of bearing was briefly analyzed, then according to the actual parameters of armored vehicles gearbox bearing bearing is a rigid flexible coupling dynamic model of ADAMS based on four different sizes of the bearing outer ring fault were simulated. The outer race fault bearing were analyzed by time-frequency characteristic of vibration signals of different sizes under the fault. The validity of the rigid flexible coupling model and simulation process was verified by the experimental analysis. The simulation and experimental results show that double impact phenomenon occurs in the time domain signal with the increase of fault size, According to the time interval of the double impact in the time domain signal, the size of the corresponding outer ring of the bearing can be judged. The results provide the help for grasping the failure of the gearbox of the armored vehicle.

Key words: armored vehicle; rolling bearing; rigid flexible coupling; fault analysis

0 引 言

由于工况的复杂及恶劣性,装甲车变速箱故障时 有发生,轴承故障在变速箱所有故障类型中占到约 19%,掌握轴承故障特性及时发现轴承故障是保证装 甲车平稳运行的关键^[13]。

F. Bogard 等^[4]建立了轴承-轴承座有限元模型, 从实验、仿真的角度对振动测点进行了优化。Kiral^[5] 提出了一种利用有限元仿真轴承外圈故障在不同载荷 条件下的振动响应的模型,计算了非平衡载荷下轴承滚动体对外圈的冲击载荷。An Sung Lee 等^[6]利用有限元法研究了转子轴承系统在冲击载荷下的响应情况。张刚等^[7]综合考虑轴承的径向载荷和转速的影响,应用 ANSYS/LS-DYNA 对滚动轴承在特定工况下进行显式动力学仿真与分析,得出了轴承的动态响应。Sarabjeet Singh 等人^[8]通过 LS-DYNA 仿真分析了轴承滚动体和滚道之间的接触力和故障轴承的振动响应,并且仿真了滚动体进入缺陷和离开缺陷时滚动体和滚

收稿日期:2017-08-21

道之间接触力的变化特征。邓四二^[9]以 ADAMS 为平 台,对高速圆柱滚子轴承进行了分析,研究了不同保持 架引导方式下高速圆柱滚子轴承保持架动态响应的影 响规律。合肥工业大学的关猛^[10]通过 ADAMS 软件 仿真验证了高速铁路轴承各部件间接触力的大小。

现有研究对轴承的故障机理、特性等较为深入,但 涉及故障定量分析的研究涉及较少,本研究建立基于 ADAMS的轴承刚柔耦合动力学模型,对轴承外圈故障 进行定量仿真分析。

1 轴承双冲击理论

当轴承外圈产生故障时,不同尺寸的故障大小所 产生的振动响应是不同的,当故障尺寸很小时,轴承的 故障振动响应信号表现为单冲击,随着故障尺寸的增 大,当故障尺寸达到一定程度时,当滚动体进入故障时 会产生第一次冲击,如图1所示。



图1 滚动体进入缺陷示意图

当滚动体离开故障时产生第二次冲击,这时轴承 的故障响应信号表现为双冲击,滚动体离开缺陷示意 图如图2所示。



图 2 滚动体离开缺陷示意图

不同尺寸故障所产生的振动响应的不同主要体 现在对应的时域信号双冲击时间间隔的不同。两次冲 击的时间间隔是与故障尺寸的宽度大小有关的。双冲 击的时间可以由下式确定:

$$t = \frac{l}{\pi D_e} \frac{1}{f_c} \tag{1}$$

式中:D_e一外圈滚道直径,可以表示为:

$$D_e = D_{pw} + D_w \tag{2}$$

$$f_c = \frac{f_s}{2} \left(1 - \frac{D_w}{D_{pw}} \cos \alpha \right)$$
(3)

式中:f_c—保持架的故障频率。

对于深沟球轴承接触角 $\alpha = 0$,所以:

$$f_c = \frac{f_s}{2} \left(1 - \frac{D_w}{D_{pw}} \right) \tag{4}$$

所以:

$$t = \frac{2lD_w}{\pi f_s (D_{pw}^2 - D_w^2)}$$
(5)

由上式看出双冲击的时间 t 与故障宽度成正比, 所以可以根据双冲击的时间得到故障的大小,从而实 现对轴承故障大小进行定量诊断。

2 基于 ADAMS 的滚动轴承动力学 仿真

2.1 基于 Solidworks 的滚动轴承三维实体建模

本研究在 Solidworks 软件中创建 4 种不同故障宽度的轴承外圈以及正常的内圈,保持架和滚动体的三维模型。

外圈故障宽度 0.5 mm 示意图如图 3 所示。



图 3 外圈故障宽度 0.5 mm 示意图

本研究将轴承外圈故障尺寸大小设置为 0.5 mm,2 mm,3.5 mm和5 mm建立4种不同外圈故 障大小的故障轴承模型。

本研究将含有不同尺寸的外圈故障轴承导入 AD-AMS 中,然后将不同尺寸的故障外圈在 ANSYS 中分 别进行柔性化,用生成的柔性体外圈替换刚性体外圈, 得到含有外圈故障的刚柔耦合模型,如图 4 所示。



2.2 仿真分析

本研究利用 ADAMS 自带的差值的功能对轴承外 圈的加速度时域信号图进行插值,然后将插值后的数 据导入到 Matlab 中进行分析,利用 Matlab 得出的不同 大小故障下所对应的轴承外圈频谱图,包络图及其时 域局部放大图如图(5~8)所示。



通过图(5~8)的时域图可以看到周期性的冲击 现象。在包络解调谱中除了非常明显的外圈故障特征 频率76.88 Hz外,而且存在明显的倍频成分。当外圈 故障尺寸为0.5 mm时,通过时域放大图,轴承的故障 脉冲响应表现为单冲击,随着故障尺寸的增大,即产生 双冲击,两个脉冲之间的时间间隔是与故障的宽度大 小相关的,双冲击的时间与故障的宽度尺寸成正比,从 而可以通过故障轴承的时域信号图中的双冲击的时间 间隔和轴承的尺寸参数实现轴承故障的诊断。



2.3 实验验证

为了验证轴承外圈故障定量仿真结果的有效性, 本研究通过电火花加工的方式加工外圈故障大小分别 为0.5 mm,2 mm,3.5 mm 以及5 mm 的矩形故障,然 后分别与正常的保持架,滚动体以及内圈装配成4 种 不同外圈故障大小的轴承,得到4 组不同外圈故障大 小的加速度振动响应信号,频谱图、包络图以及时域局 部放大图如图(9~12)所示。



通过对不同故障大小的轴承外圈进行实验可以 看出, 仿真结果与实验结果基本相符, 当故障为



0.5 mm时,振动响应信号的时域图主要表现为单冲击,不存在双冲击的现象,随着故障尺寸的增大,当故障大小为2 mm,3.5 mm 和5 mm 时,振动响应信号中可以看到双冲击现象的存在,并且在每种不同故障大小的时域放大图中均能找到相对应的双冲击的时间间隔,时间间隔与理论计算值及其仿真结果是十分吻合的,从而验证了仿真结果的有效性。

3 结束语

根据装甲车变速箱轴承实际参数,本研究建立了 基于 ADAMS 的轴承刚柔耦合动力学模型,对双冲击 理论进行了简要概述,并对 4 种不同尺寸的轴承外圈 故障进行了仿真,通过故障轴承的振动响应信号得出 当故障宽度为 2 mm,3.5 mm 以及 5 mm 时,故障轴承 的时域信号中存在双冲击现象,根据时域信号中双冲 击的时间间隔就可以得到所对应的轴承外圈故障宽度 的大小,实现了轴承外圈故障的准确诊断。

该方法为提高轴承故障诊断准确率,预测轴承运 行寿命提供了帮助。

参考文献(References):

- [1] 徐东郾. 球轴承疲劳剩余寿命分析与预测方法研究[D].长沙:国防科学技术大学研究生院,2011.
- [2] 任永胜,赵艳勤,黄 坚. 自行火炮综合传动装置非线性动力学仿真与疲劳可靠性寿命预测[J]. 兵工自动化, 2017,36(2):86-91.
- [3] BOZCHALOOI I S, LIANG M. A joint resonance frequency estimation and inband noise reduction method for enhancing the detectability of bearing fault signals [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2008, 22(4): 915-933.

- BOGARD F, DEBRAY K, GUO Y Q. Determination of sensor position for predictive maintenance of revolving machines
 [J]. International journal of Solids and Structures, 2002,39(12):3159-3173.
- [5] KIRAL Z, KARAGÜLLE H. Simulation and analysis of vibration signals generated by rolling element bearing with defects[J]. Tribology International, 2003, 36(9):667-678.
- [6] AN S L, KIM B O, KIM Y C. A finite element transient response analysis method of a rotor-bearing system to base shock excitations using the state-space Newmark scheme and comparisons with experiments [J]. Journal of Sound & Vibration, 2006, 297(3-5):595 - 615.
- [7] 张 刚,梁 松,张义民.滚动轴承的动力学仿真分析

[J]. 机械设计与制造,2013(9):32-34.

- [8] SINGH S, KÖPKE U G, HOWARD C Q, et al. Analyses of contact forces and vibration response for a defective rolling element bearing using an explicit dynamics finite element model [J]. Journal of Sound & Vibration, 2014, 333 (21):5356-5377.
- [9] 邓四二,顾金芳,崔永存,等.高速圆柱滚子轴承保持架动 力学特性分析[J].航空动力学报,2014,29(1):207-25.
- [10] 关 猛. 基于 ADAMS 的高性能轴承动态性能分析[D]. 合肥:合肥工业大学机械与汽车工程学院,2014.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

宋一龙,高 鑫,王智勇,等.装甲车变速箱滚动轴承故障仿真分析[J].机电工程,2018,35(3):251-255.
 SONG Yi-long, GAO Xin, WANG Zhi-yong, et al. Simulation analysis of fault of rolling bearing for gearbox of armored vehicle[J]. Journal of Mechanical & E-lectrical Engineering, 2018,35(3):251-255.
 《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn

(上接第234页)

- [3] IANNUZZELLI R J, SEYYEDI J A, CALLAHAN D L et al. Development and application of mechanical and reliability models for connectors and sockets [C]. ASME Pacific Rim Technical Conference and Exhibition on Integration and Packaging of MEMS NEMS, and Electronic Systems Collocated with the ASME 2005 Heat Transfer Summer Conference, SanFrancisco: ASME,2005.
- [4] 任万滨,崔 黎,翟国富,等,电连接器接触件插拔特性与 接触电阻的仿真分析[J].机电元件,2012,32(3):40-44.
- [5] 张明畏. 正压力-电连接器的基本特性[J]. Electromechanical Component, 1997, 17(3-4): 29-34.
- [6] 刘洪文. 材料力学上册[M]. 3 版. 北京:高等教育出版 社,1996.
- [7] 石亦平,周玉蓉. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京:机械工业出版社,2014.
- [8] 付 哲.电连接器可靠性研究[D].武汉:华中科技大学 水利水电工程学院,2006.

- [9] IEC std 60068-2-6. Environmental testing-vibration (sinusoidal) [S]. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2007.
- [10] 许志红. 电气理论基础[M]. 北京:机械工业出版社, 2014.
- [11] IEC std 60947-7-1. Ancillary equipment-terminal blocks for copper conductors[S]. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2009.
- [12] Company std CS17 Part3. Surface specification-tin surface[S]. Blomberg: Phoenix Contact GmbH & Co. KG, 2007.
- [13] 展 铭. 基于代理模型的 L 型双加筋板结构动力学优化 设计[D]. 南京:南京航空航天大学机电学院,2015.
- [14] 张永恒.工程优化设计与 Matlab 实现[M].北京:清华大学出版社,2011.
- [15] 文美兰. 接触电阻的分析与测量_四端法[J]. 计量与测试技术,2014,41(3):62-63.

「编辑:张 豪]