

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.019

基于光纤光栅传感器的齿轮箱状态监测系统

陈亮, 王其林, 李旭松

(海军蚌埠士官学校 兵器系, 安徽 蚌埠 233012)

摘要: 针对某型舰炮瞄准机齿轮箱齿轮磨损程度不易测量的问题, 设计一种齿轮箱状态实时监测系统。系统硬件以光纤光栅传感器为测量节点, 光纤为信号传输介质, 信号经解调系统输入虚拟仪器平台, 进行数据处理与显示。系统软件功能包括光纤光栅解调、箱体振动信号还原和齿轮状态评估。该系统具有抗干扰、抗腐蚀性强, 体积小, 便于管理, 易于集成的特点。

关键词: 齿轮磨损; 实时监测; 光纤光栅传感器

中图分类号: TP277; TP212.9 **文献标志码:** A

Gear Box State Detection System Based on Fiber Grating Sensor

Chen Liang, Wang Qilin, Li Xusong

(Dept. of Weaponry Engineering, Bengbu Petty Officer School of PLA Navy, Bengbu 233012, China)

Abstract: It is hard to measure gear abrasion of certain type artillery collimator gear box. Therefore design a real time detection system of gear box. The system hardware uses fiber grating sensor as measuring node and adopts fiber as signal transmission medium. The signal is inputted into virtual instrument platform through demodulation system and carried out data processing and displaying. The system software functions include fiber grating demodulation, oscillation signal revivification and gear state estimation. Characteristic of the system is anti-jamming, anti-erosion, small type and easy to integrating.

Keywords: gear abrasion; real time detection; fiber grating sensor

0 引言

某型舰炮在服役过程中, 易出现高低机齿轮箱齿轮磨损的问题, 直接影响了瞄准速度和射击精度, 贻误战机。但是于该部位的磨损情况不易在日常维护保养中进行检查, 为此需要进行试验并建立专家诊断系统。在舰炮齿轮箱长期运行过程中, 通过采集振动信号、分析磨损程度、对比射击精度, 可得到该齿轮箱齿轮磨损对射击精度的量化影响。传统带电的传感设备不能适应由海水带来的潮湿、盐碱环境, 不太适用于海上试验。而光纤光栅传感器具有全光测量、光纤传输的特点, 且抗电磁干扰强, 抗腐蚀性强, 不受潮湿的影响, 能够适应舰上环境^[1]。因此, 笔者设计了一种齿轮箱状态实时监测系统, 以光纤光栅传感器为测量节点, 能够长期、有效地监测舰炮齿轮箱齿轮的磨损情况。

1 系统整体设计

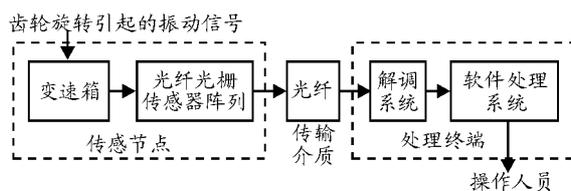


图1 系统整体设计

系统的整体设计框图如图1, 主要围绕齿轮磨

损的信号提取、光纤光栅传感器的信号解调和齿轮磨损情况的评估这3个核心问题进行设计。

1.1 齿轮磨损信号提取

系统目标是对齿轮磨损情况进行监测, 而光纤光栅传感器属于接触式传感器, 无法对运转中的齿轮进行直接测量。只能通过监测齿轮箱的振动情况, 对齿轮的磨损情况进行判断。在齿轮箱齿轮运转时, 齿轮间的振动冲击通过轴承传递到齿轮箱上, 引起齿轮箱体的振动, 而在齿轮的磨合磨损阶段、稳定磨损阶段和剧烈磨损阶段, 齿轮箱的振动特征有着显著区别, 因此, 系统的光纤光栅传感器节点直接封装在齿轮箱的轴承附近, 用于提取包含了齿轮磨损信息的箱体振动信号。

1.2 光纤光栅传感器解调

光纤布拉格光栅的传感原理是: 当宽带光源在光栅中传输时, 入射光将在相应波长上被反射回来, 其余的透射光谱则不受影响, 如图2。反射中心波长 λ_B 由式 $\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda$ 决定, 其中 n_{eff} 为光纤芯区有效折射率, Λ 为光栅栅距周期。应变和温度分别通过弹光效应与热光效应影响 n_{eff} , 通过长度改变和热膨胀效应影响 Λ , 从而使 λ_B 发生移动。检测 λ_B 的变化量 $\Delta\lambda_B$, 即能得到应变或温度的变化量。

收稿日期: 2011-01-17; 修回日期: 2011-03-17

作者简介: 陈亮(1983—), 男, 湖南人, 硕士, 助教, 从事小口径舰炮检测与维修研究。

光纤光栅传感器信号必须进行解调，即检测光纤内反射光波长的变化 $\Delta\lambda_B$ ，从而计算传感器节点附近的应变变化，还原出箱体振动信号。光纤光栅解调方法主要有光谱仪法、窄带光源调谐问讯法、线性边缘滤波器法、可调谐 F-P 滤波器法、匹配光纤光栅滤波器法、CCD 空间光谱分布解调法、非平衡马赫-曾德干涉仪解调法、迈克耳逊干涉仪解调法等^[2]。针对上述各种解调方法的特点，选择基于可调谐 F-P 滤波器法的解调系统^[3]，其原理如图 3。该解调系统具有成本低，设备体积小的特点，结合虚拟仪器平台的解调软件，对中低频振动信号的解调精度在 10 $\mu\epsilon$ 内，能够满足本系统的传感要求。

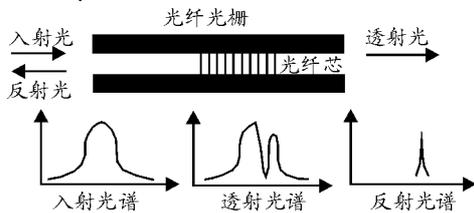


图 2 光纤布拉格光栅传感原理

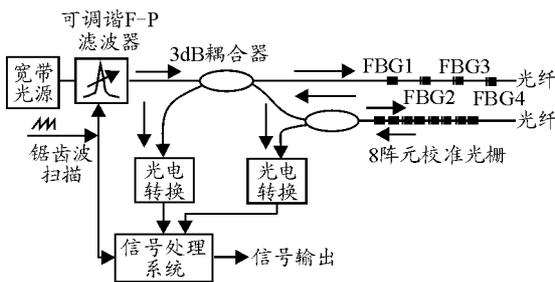


图 3 可调谐 F-P 滤波器解调法原理图

1.3 齿轮磨损情况评估

还原出箱体振动信号后，需要对信号进行处理，以判断在当前振动情况下，齿轮箱齿轮的磨损情况。根据设备故障诊断的相关理论，可采用频域信号分析法和各种分形维数分析法^[4-5]。本系统采用的是广义分形维数分析法^[6]。

广义维数分析法，对于任意给定的 q ，长度为 N 的信号 p ，其广义维数 General 信息熵为：

$$K_q = \{ \lg \sum_{i=1}^N (p_i)^q \} / (1 - q)$$

广义维数为：

$$D_q = - \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \lg K_q / \lg \epsilon$$

在故障诊断过程中，对于不同 q 值的广义维数序列 D_q ，总能找到某个 q 值所对的广义维数曲线上的突变值，该 q 值对应的 D_q 即为敏感维数。

在设备运转的过程中，分段处理传感器采集到箱体振动信号，计算其敏感维数，通过监测敏感维

数的变化趋势来判断箱内齿轮的磨损情况。一般说来，齿轮在稳定磨损阶段时，实际接触面积较大，表面应力较小，磨损较小，振动冲击变化小，敏感维数不再发生较大变化；当齿轮进入剧烈磨损阶段后，由于齿轮表面形貌发生了较大变化，磨损量急剧上升，啮合间隙加大，振动冲击加剧，敏感维数随着齿轮磨损的加剧而增大，并且变化剧烈，呈波动起伏状。通过软件实现齿轮磨损情况评估的具体功能。

2 系统软件设计

系统软件基于虚拟仪器软件 LabVIEW 进行开发^[7]，主要实现的功能有：配合光纤光栅传感器解调系统以实现齿轮箱振动信号还原，对齿轮箱体振动信号进行数据处理以评估齿轮磨损情况，评估结果的显示和软件参数的设置调整等交互功能。

2.1 光纤光栅解调软件

光纤光栅传感器解调系统的两路光电转换信号，分别是传感器节点阵列的反射光信号和校准光栅阵列的反射光信号，利用采集卡将两路信号采入计算机，经过解调软件的处理，计算各传感器节点的反射光谱波长变化情况，从而获得各节点附近的应变变化，还原箱体的振动波形。软件数据处理流程如图 4。

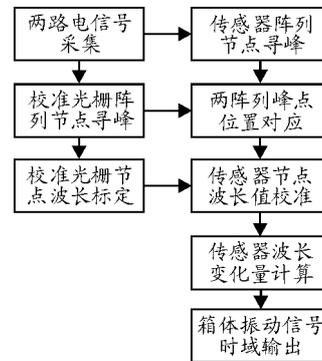


图 4 软件解调算法流程

2.2 齿轮磨损情况评估软件

根据箱体振动信号判断齿轮磨损情况采用广义分形维数分析的方法，根据前述设计原理，基于 LabVIEW 软件开发的算法流程如图 5。

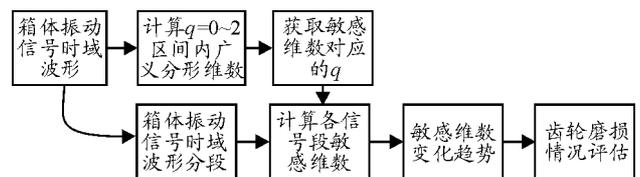


图 5 齿轮磨损情况评估软件算法流程