

固态发酵型酒企机械振动监测与异常报警智能系统

涂海洋¹ 孙晓珂² 高椿明^{1,3} 胡强¹

1.宜宾电子科技大学研究院智能感知技术中心 四川 宜宾 644005

2.四川宜宾恒生福酒业集团有限公司 四川 宜宾 644199

3.电子科技大学光电技术学院 四川 成都 611731

【摘要】：振动监测作为设备运行过程中状态监测和异常报警的一种手段，被广泛运用于各种精密仪器、加工机床的状态监控。针对固态发酵型白酒酿造企业安全生产的需求，设计了一套基于振动监测的低功耗无线传输的机械振动监测与异常报警智能系统。该终端采用电池供电，定时唤醒采集数据，并通过工业无线网络进行数据上传，上传数据通过算法特征库识别，判读设备当前运行状态是否异常。结果表明，该终端具有电池续航能力长、数据传输稳定、模拟带内波动小、异常状态识别准确等优点，可用于固态发酵型白酒酿造企业碎粮机、锅炉房蒸汽管道等设备运行状态的监测，提高企业的生产安全性。

【关键词】：振动监测；无线传输；低功耗；安全生产

Intelligent System of Mechanical Vibration Monitoring and Abnormal Alarm for Solid-state Fermentation Wine Enterprises

Haiyang Tu¹, Xiaoke Sun², Chunming Gao^{1,3}, Qiang Hu¹

1. Intelligent Perception Technology Center Research Institute of Yibin University of Electronic Technology Sichuan Yibin 644005

2. Sichuan Yibin Hengshengfu Wine Group Co. Ltd. Sichuan Yibin 644199

3. School of Optoelectronic Technology University of Electronic Science and Technology of China Sichuan Chengdu 611731

Abstract: As a means of status monitoring and abnormal alarm during equipment operation, vibration monitoring is widely used in the condition monitoring of various precision instruments and processing machine tools. In view of the needs of solid fermentation liquor brewing enterprises for safe production, a set of mechanical vibration monitoring and abnormal alarm intelligent system based on low-power wireless transmission based on vibration monitoring is designed. The terminal adopts battery power, wakes up regularly to collect data, and uploads data through industrial wireless networks, and the uploaded data is identified by the algorithm feature database to interpret whether the current operating state of the equipment is abnormal. The results show that the terminal has the advantages of long battery life, stable data transmission, small simulated in-band fluctuation, and accurate identification of abnormal states, which can be used to monitor the operation status of grain crushers, boiler room steam pipelines and other equipment in solid-state fermentation liquor brewing enterprises, and improve the production safety of enterprises.

Keywords: Vibration monitoring; Wireless transmission; Low power consumption; Safety

引言

安全生产越来越被政府以及企业管理层所重视。大企业通过设备维护部门定期检查设备运行状态，可大大减少安全事故的发生，而中小企业常常因为管理者不重视或者无意识，职能部门缺失或者仅仅为了节省企业开销，常常忽略设备的定期检查，导致安全事故频发。就白酒酿造行业来说总体信息化程度低，设备老旧且运行环境恶劣。危险场所多，主要危险因素是燃气、粮食粉尘、曲药粉尘、白酒导致的火灾爆炸、锅炉爆炸、窖坑内的中毒和窒息等等。其事故危险源主要是锅炉场所、粮食和曲药粉碎场所、酒库、露天酒罐区、勾兑车间、灌装、包装车间、成品库、窖坑等场所^[1]。可通过振动监测的方式进行安全隐患报警的场所主要有粮食和曲药粉碎场所以及锅炉场所。通过对设备运行期间振动信号的监测，判断历史偏

差，从而实现对运行状态的判断，一旦异常即刻通知管理人员排查，预防设备损坏以及因设备异常运行而引发的生产安全事故。

1 硬件设计

1.1 系统构成

固态发酵型酒企机械振动监测与异常报警智能系统专为监测酒企设备、锅炉管道等运行状态监测而开发，终端采用 STM32 作为主控芯片，蜂鸣片作为振动传感器件，利用无线 WIFI 通信将振动声纹信号传递到指定平台，平台端采用 AI 算法对数据特征进行识别处理，最后实现对被监测设备运行状态的判定，实现异常报警功能。该系统包括振动采集无线传输终端、工业 WIFI/移动 WIFI、振动声纹云平台以及基于信息化管理平台 and APP 的展示端构成，其系统框图如图 1 所示。

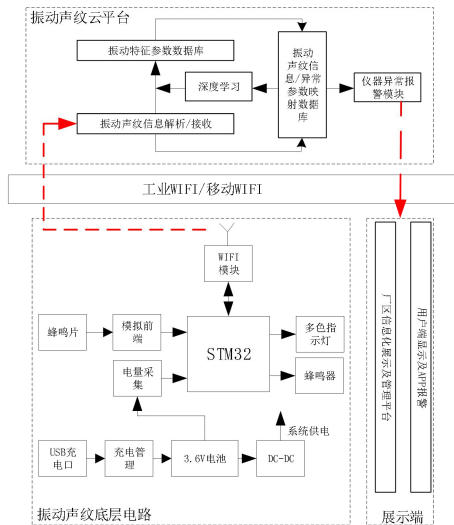


图 1 系统框图

1.2 传感器设计

压电材料一般包括五种，即压电陶瓷、压电晶体、压电聚合物、压电薄膜和压电复合材料。其中应用最广泛的是压电陶瓷，其具有压电效应。

压电方程的边界条件由机械边界条件与电学边界条件组成。由机械自由或机械夹持，电学短路或电学开路，可分为四种形式的压电方程。用 T 表示应力， S 表示压电材料的应变， E 表示电场强度， D 表示电位移，可得压电方程见表 1。

表 1 压电方程

第一类	第二类	第三类	第四类
电学短路	电学短路	电学开路	电学开路
机械自由	机械夹持	机械自由	机械夹持
$S = s^E T + d^T E$ $D = dT + \epsilon^E E$	$T = c^E S - e^T E$ $D = eS + \epsilon^S E$	$S = s^D T + g^T D$ $E = gT + \beta^D D$	$T = c^D S - h^T D$ $E = -hS + \beta^S D$
s^E 为短路弹性柔顺常数矩阵， e^T 为自由介电常数矩阵， d 为压电应变常数矩阵， d^T 为 d 的转置矩阵	c^E 为短路弹性刚度常数矩阵， e^S 为夹持介电常数矩阵， e^T 为 e 的装置矩阵	s^D 为开路弹性柔顺常数矩阵， β^T 为自由介电隔离率矩阵， g 为压电电压常数矩阵， g^T 为 g 的转置矩阵	c^D 为开路弹性刚度常数矩阵， β^S 为夹持介电隔离率矩阵， h 为压电刚度常数矩阵， h^T 为 h 的转置矩阵

压电加速度计有多种结构，但最常见的还是压缩型结构。主要由质量块、压电元件、引线以及基座构成。在压缩压电加速度计的力学模型中，设 $y(t)$ 表示基座位移， $x(t)$ 表示质量块位移。用 $z(t)$ 表示质量块相对于基座的位移，则：

$$z(t) = x(t) - y(t) \quad (2-1)$$

传感器随振动表面一起振动时质量块会在弹簧与阻尼器的共同作用下上下运动，可以建立如下所示的运动方程：

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -kz(t) - c \frac{dz(t)}{dt} \quad (2-2)$$

将 (2-1) 式代入式 (2-2) 中，消去 $x(t)$ 项，可得：

$$m \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + c \frac{dz(t)}{dt} + kz(t) = -m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} \quad (2-3)$$

代入系统的无阻尼谐振频率与无因次阻尼比，可得：

$$\frac{d^2 z(t)}{dt^2} + 2\xi \omega_n \frac{dz(t)}{dt} + \omega_n^2 z(t) = -\frac{d^2 y(t)}{dt^2} \quad (2-4)$$

压电材料的压电常数 k 很大， ω_n 远大于 m 和 c ，所以 $\xi \ll \omega_n$ ，可将前两项略去。

$$z(t) = -\frac{1}{\omega_n^2} \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} \quad (2-5)$$

由于 $\omega_n \rightarrow +\infty$ ，所以， $z(t) \rightarrow 0$ 即 $x(t) \approx y(t)$ ，可得：

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -\frac{ky(t)}{m} \quad (2-6)$$

压电传感器的压电元件受到的作用力可以表示如下：

$$F = Kz(t) \quad (2-7)$$

代入压电方程的推论后便可推导出质量块的加速度 a 为：

$$a = \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = \frac{A_F}{m d_i A_Q} Q \quad (2-8)$$

其中： A_Q 表示压电材料上下表面的表面积； A_F 表示压电材料的受力面积； Q 为压电材料表面的电荷量。由上式可知，压电加速度计中质量块的加速度 a 与压电材料表面的电荷量 Q 成正比例关系。因此，可以使用压电加速度计测量物体的振动。压电加速度计主要有两种结构设计方式，分别为悬臂梁式^[2]（仿真结构如图 2 所示）和周边固定式^[3]（仿真结构如图 3 所示）为了减少本征信号落在信号带内，所以传感器的设计采用周边固定式结构。

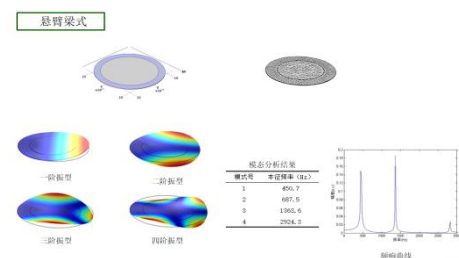


图 2 悬臂梁式结构仿真图

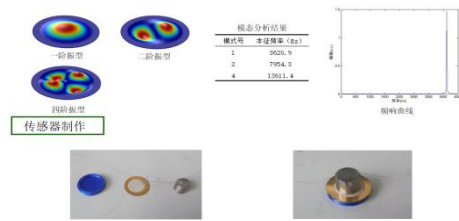


图 3 周边固定式结构仿真图

1.3 振动声纹云平台设计

对于声音信号算法的设计是本课题研究的重点。声音信号处理包括三方面：降噪处理、特征提取和故障诊断。声音信号的处理是基于 MATLAB 平台实现，其中降噪处理是以小波

阈值去噪为基础进行改进降噪算法, 特征提取部分提取了 MFCC 和深度学习特征, 故障诊断模型搭建了深度学习模型和 SVM 模型, 具体算法设计如图 4 所示^[4]。

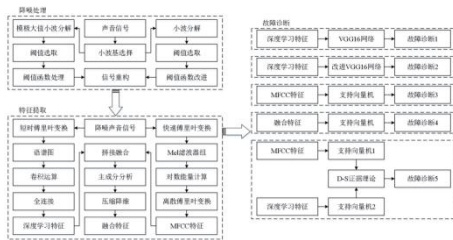


图 4 声音信号处理算法设计

2 模拟环境验证

砂轮机同时安装左右两个砂轮运行模拟工况一；让砂轮机只安装左边的一个砂轮运行模拟工况二，测试换进如图 5 所示。



图 5 实验环境

由此得到砂轮机在两种工况下的振动信号的时域与频谱图如图 6 所示:

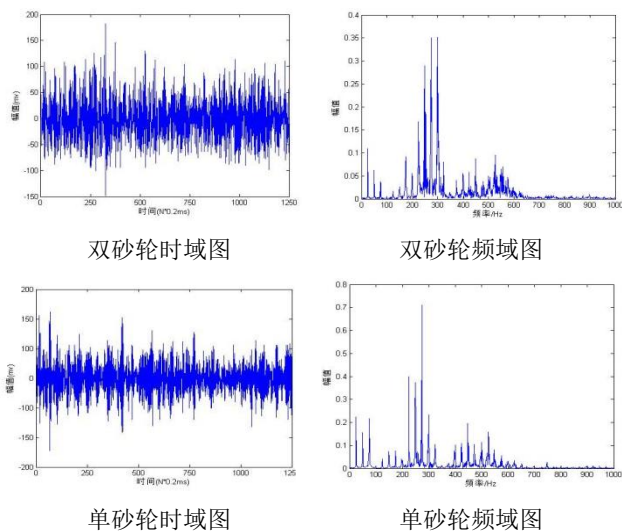


图 6 模拟环境数据采集图

参考文献:

- [1] 雷胜利.完善白酒生产企业生产安全事故应急预案体系[A].企业技术开发,2014,第 33 卷第 11 期: 38-39.
- [2] 谢志.压电悬臂梁振动能量收集器的建模与仿真[A].农业装备与车辆工程,2020,第 58 卷第 12 期: 47-50.
- [3] 李丽,崔宗超.基于 PZT 的振动能量收集仿真系统设计及分析[A].河南教育学院学报(自然科学版),2021,第 30 卷第 1 期: 40-45.
- [4] 孙永明.基于声音信号的带式输送机故障诊断系统研[D].曲阜师范大学(电气工程),2021.

使用短时傅里叶变换 (STFT) 对信号进行分析, 得两种工况下的时频图如图 7 所示, 可以明显区分工况一和工况二:

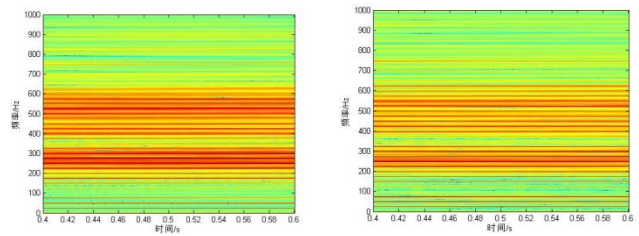
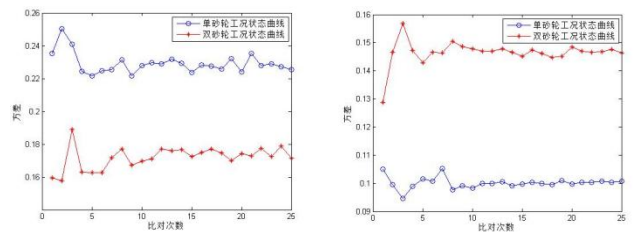


图 7 时频图

使用本文的振动监测谱比算法分别在工况一和工况二下学习, 然后对两种工况进行监测, 得到的状态曲线如图 8 所示。由图可知状态曲线实现了分离, 因此系统具备状态的辨识与监测能力。



8 状态曲线图

3 结论

本文提出得的固态发酵型酒企机械振动监测与异常报警智能系统主要用于酒企设备及管道工作时的振动声纹信号采集,通过工业 WIFI 发送到振动声纹云平台进行声纹信号的分析处理,并将处理结果发送到展示端。所得结论如下:

(1) 传感器设计上面, 悬臂梁结构本振频率低更适合低频工况的信号采集, 周边固定式结构本振频率高, 适合频率较高的工况环境, 本系统主要用于酒企设备和管道运行状态监测, 振动频率较高, 传感器故采用周边固定式结构。

(2) 通过单砂轮和双砂轮两种工况的监测, 验证了该系统具备对不同工况的识别能力。通过人工智能学习算法对被监测设备不同工况进行特征提取, 最终实现对被监测设备故障的预判是报警。