

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.05.054

基于快速傅里叶变换的刮板输送机断链监测方法研究

孙延义, 柯伟

(国家能源集团新疆能源公司 乌东煤矿, 新疆 乌鲁木齐 830021)

摘要: 为了保证刮板输送机运行的安全可靠,降低事故发生概率,提出基于快速傅里叶变换的刮板输送机断链监测方法。通过经验模态分解算法,将刮板输送机链条信号从噪声中分离出来;基于快速傅里叶变换将振动信号时域特征转化为频域特征,分离重叠振动信号,再通过频谱重构明确信号的振动幅值,判断振动信号幅值与阈值的大小关系,完成刮板输送机断链监测。实验结果表明:所提方法能够精准监测不同负荷下的刮板链工作状态,有助于及时发现并处理故障,避免突然断链造成的生产中断和安全事故。

关键词: 刮板输送机;断链故障;傅里叶变换;经验模态分解;故障监测

中图分类号: TD528 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2025)05-0279-03

Research on Chain Breakage Monitoring Method for Scraper Conveyor Based on Fast Fourier Transform

SUN Yanyi, KE Wei

(Wudong Coal Mine, Xinjiang Energy Company of National Energy Group, Urumqi 830021, China)

Abstract: A chain breakage monitoring method based on fast Fourier transform is proposed for the scraper conveyor, ensuring the safe and reliable operation of the scraper conveyor and reducing the probability of accidents. Using the empirical mode decomposition algorithm, the chain signal of the scraper conveyor is separated from the noise. Based on the fast Fourier transform, the time-domain characteristics of vibration signals are transformed into frequency-domain characteristics, overlapping vibration signals are separated, and the vibration amplitude of the signal is determined through spectrum reconstruction. The relationship between the amplitude of the vibration signal and the threshold is determined to complete the monitoring of scraper conveyor chain breakage. The experimental results show that the proposed method can accurately monitor the working status of scraper chains under different loads, which helps to timely detect and handle faults, avoiding production interruptions and safety accidents caused by sudden fractures.

Keywords: scraper conveyor; chain breakage fault; Fourier transform; empirical mode decomposition; fault monitoring

0 引言

在刮板输送机长时间的运行过程中,其链条可能会因疲劳、磨损或过载等原因发生断裂,导致生产中断和设备损坏,甚至可能引发安全事故^[1]。传统的断链监测方法往往依赖于人工巡检或简单的传感器检测,这些方法存在响应速度慢、误报率高、难以实时监测等问题^[2]。因此,开发一种高效、准确的断链监测方法成为了当前的研究热点^[3]。

文献[4]提出基于光纤声传感的带式输送机托辊故障监测方法,实时监控故障特征。文献[5]利用卡尔曼滤波器监测刮板输送机直线度,确保综采面开采过程的稳定性。文献[6]通过深度学习技术,改进 YOLOv5 网络,实现输送带跑偏

的智能监测。文献[7]结合人工智能算法,分析刮板输送机链条驱动系统信号,确保信号状态及时判断。这些研究为输送机系统的安全、高效运行提供了有力保障。

但上述方法抗干扰能力弱,易出现误差,导致监测精度低。为此,本文提出了基于快速傅里叶变换的刮板输送机断链监测方法。

1 基于经验模态分解算法的输送机振动信号去噪

在恶劣的矿井条件下,所采集到的输送机链条振动信号含有大量的背景噪声,易掩盖输送机工作状态的特征信息,造成监测精度下降。因此,对输送机链条振动信号进行消噪是实现刮板输送机断链精确监测的先决条件^[8]。本文所提方法通

过经验模态分解算法分解振动信号,在原始振动信号上添加高斯白噪声,将不同尺度的信号自动分配到适当的基准标度,从而保证了信号的连续性,消除了模式混叠现象。

1)在原始振动信号 $x(t)$ 上加上幅值与功率谱密度不同的高斯白噪声 $h_i(t)$,获得要被分解的信号 $x_i(t)$:

$$x_i(t) = x(t) + h_i(t) \quad (1)$$

式中: $i=1,2,\dots,N$, N 表示分解数量; $t=1,2,\dots,L$, L 表示采样数量。

2)通过经验模态分解待分解的信号 $x_i(t)$:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^K c_{ij}(t) + r_i(t) \quad (2)$$

式中: $c_{ij}(t)$ 表示第 j 个的固有模态函数分值,其中 $j=1,2,\dots,K$, K 表示固有模态函数数量; $r_i(t)$ 表示残差值^[9]。

3)重复 $x_i(t)$ 次计算步骤 1) 和步骤 2)。

4)对获得的多个固有模态函数分值进行整体平均,去除高斯白噪声的干扰,获得最后的固有模态函数分值 $c_j(t)$ 和残差值 $r(t)$,最后得出原始振动信号 $x(t)$ 的经验模态分解结果:

$$x(t) = \sum_{j=1}^K c_j(t) + r(t) \quad (3)$$

计算得到各固有模态函数分值与原始振动信号之间的相关函数为

$$\rho[x(t), c_j(t)] = \frac{\sum_{t=1}^L [x(t) - \bar{x}][c_j(t) - \bar{c}_j]}{\sqrt{\sum_{t=1}^L [x(t) - \bar{x}]^2} \sqrt{\sum_{t=1}^L [c_j(t) - \bar{c}_j]^2}} \quad (4)$$

当 $\rho > 0.1$ 时,为刮板输送机断链的特征信号;当 $\rho \leq 0.1$ 时,为虚拟噪声信号^[10-11]。

2 基于快速傅里叶变换的断链监测

去除冗余后的信号内包含多组链条的振动特征,彼此相互重叠,难以通过常规的方法进行实时监测^[12],在分离重叠振动数据时会消耗大量时间,为此,使用快速傅里叶变换方法进行监测。快速傅里叶变换是一种高速的离散傅里叶变换,离散傅里叶变换可以从信号的时域特征中获取频域特征,分离重叠振动信号,再将频域特征恢复为时域特征,这时便可明确信号的振动幅值,当超过设定阈值时,就可以判断该信号为断链故障^[13-14]。

假设刮板链振动信号序列 $y(n)$ 是一个长为 M 的有限序列,那么 $y(n)$ 的信号点 A 经过离散傅

里叶变换可变为

$$Y(k) = \sum_{n=0}^{A-1} y(n) W_A^{nk}, k = 0, 1, \dots, A-1 \quad (5)$$

式中 W_A 表示蝶形因子。

快速傅里叶变换则是将离散傅里叶变换分解成具有较少点数的离散傅里叶变换,以此为基础,将快速傅里叶变换的运算取代大规模离散傅里叶变换运算,以实现高效计算^[15-19]。通过快速傅里叶计算得到刮板链振动信号序列 $y(n)$ 的频谱数值,即计算式(5)。其中, $y(n)$ 通常包括实部 $Y_R(k)$ 与虚部 $Y_I(k)$,那么就有

$$Y(k) = [Y_R(k)]^2 + [Y_I(k)]^2 \quad (6)$$

这样,利用快速傅里叶变换后的数据,根据实部 $Y_R(k)$ 与虚部 $Y_I(k)$,对其进行平方和运算,即可得到刮板链振动信号的频谱形式。

设定刮板输送机的断链监测阈值 ε ,当 $Y(k) > \varepsilon$ 时,表示当前刮板链处于断链状态;当 $Y(k) = \varepsilon$ 时,表示刮板链处于卡顿状态;当 $Y(k) < \varepsilon$ 时,表示刮板链状态正常。

3 实验结果与分析

以 SGW-40T 型刮板输送机为实验的研究对象,设备总功率为 55 kW,输送机链条速度为 2 m/s,输送量为 720 t,中部槽宽为 590 mm。实验用刮板输送机如图 1 所示。



图 1 刮板输送机

模拟刮板链不同负荷的链条,分为正常状态、卡顿状态和断链状态下的刮板输送机振动信号特征。采用高精度的振动传感器来监测刮板链的振动情况。传感器被安装在刮板输送机刮板链的中部位置,以便能够准确地捕捉到链条在不同状态下的振动特征。不同状态下的刮板链条振动信号幅度如图 2 所示。

从图 2 可以看出,3 种状态下振动信号幅值随着负载量的增加,也呈上升趋势,并且在刮板链处于断链状态时,信号振动幅值都高于正常状态,

所以,可以通过对比信号振动幅值的高低来监测刮板链是否处于断链状态。

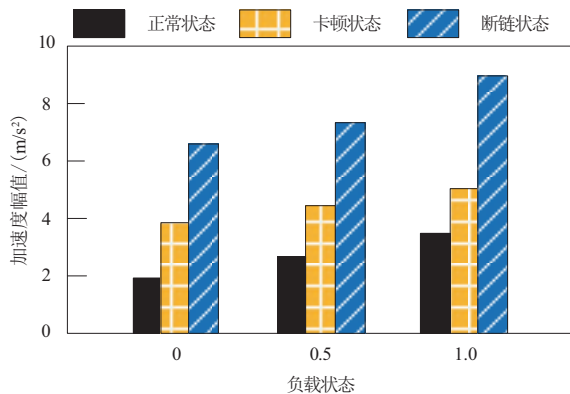


图2 不同状态下的振动信号幅度

使用所提方法对比分析刮板输送机不同状态下监测点振动信号的特征,以实现刮板链状态的监测。通过对刮板链的卡顿状态和断链状态两种情况进行仿真,获取故障发生6s内各监测点振动信号的时频特征。如图3所示。

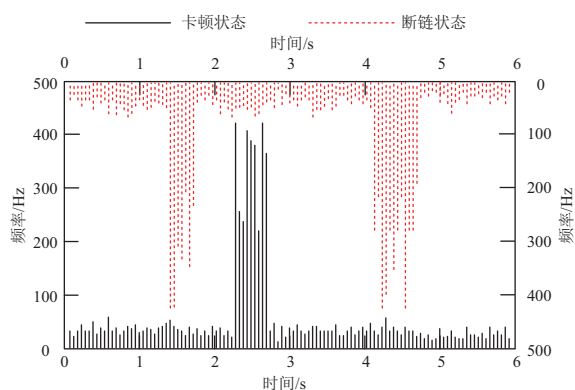


图3 监测点的振动时频信号

由图3可以看出,在刮板链可能出现卡顿状态时,监测点出现一处频率较高的振动信号;在刮板链可能出现断链状态时,监测点出现两处频率较高的振动信号。说明所提方法能有效监测到刮板输送机的工作状态。

4 结语

由于刮板输送机承载量大,工作环境恶劣,在运行中难免会出现各种各样的故障。在这些故障中,断链故障的发生率比较高,影响也比较严重,这不仅会影响到生产,还会造成设备的损坏,导致安全事故的发生。为此,本文提出了基于快速傅里叶变换的刮板输送机断链监测方法。通过经验

模态分解算法对输送机振动信号进行去噪,消除信号背景噪声;基于快速傅里叶变换方法对去噪后的振动信号从时域转换到频域形式,实现快速的信号分析。通过实验可知,本文所提方法能够用于各种工作状态下的刮板链监测,能够精准检测到刮板链异常信号特征,为刮板输送机的安全运行提供了有力保障。

参考文献:

- [1] 方新秋,陈宁宁,冯豪天,等. 刮板输送机直线度光纤精准感知与调直关键技术[J]. 采矿与安全工程学报, 2023, 40(5): 1043-1056.
- [2] 丁华,吕彦宝,崔红伟,等. 基于分布式深度神经网络的刮板输送机启停工况故障诊断方法[J]. 振动与冲击, 2023, 42(18): 112-122, 249.
- [3] 王存飞. 链轮齿厚对矿用刮板输送机链传动系统的固有频率影响分析[J]. 机械传动, 2022, 46(11): 115-121.
- [4] 梁堃,王驰. 基于分布式光纤声波传感器的带式输送机托辊故障监测方法[J]. 激光与光电子学进展, 2023, 60(9): 276-284.
- [5] 张帆,李闯,李昊. 智能综采工作面刮板输送机直线度监测方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(4): 246-255.
- [6] ZHANG M C, JIANG K, CAO Y S, et al. A deep learning-based method for deviation status detection in intelligent conveyor belt system[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 363: 1-12.
- [7] MAO J, YANG Z Y, LU J N. Research on signal analysis and diagnosis of chain drive system of the scraper conveyor guided by artificial intelligence algorithm[J]. Journal for Light and Electronoptic, 2022, 271: 170149.
- [8] 杨春雨,曹博仕,张鑫,等. 带式输送机系统故障诊断方法综述[J]. 工矿自动化, 2023, 49(6): 149-158.
- [9] 张行,江帆,贾晨曦,等. 结合虚拟样机技术的刮板链故障受力特性分析[J]. 机械设计与制造, 2023(1): 247-251.
- [10] 李丽荣,马继红,常建芳. 基于BP神经网络的刮板输送机变频控制系统优化研究[J]. 煤炭技术, 2022, 41(5): 187-189.
- [11] 姜涛,刘博涵,李雪,等. 基于多元经验模态分解的电力系统强迫振荡源定位[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(22): 8063-8074.
- [12] 李文华,姜惠,赵正元,等. 基于波形匹配端点延拓法优化的经验模态分解算法在铁路继电器参数降噪上的应用[J]. 电工技术学报, 2022, 37(10): 2656-2664.

(下转第302页)

然而,由于硬件设备、光照、温湿度等环境的影响,安全监控系统检测效果可能会受到影响。未来的研究方向可以着重解决在复杂环境下的检测准确性。

参考文献:

- [1] 谷菁芳,严力,凌人. 基于 AI 识别的自动扶梯安全运行监控系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(9):131-134,151.
- [2] 龚士林,孙辅庭,黄维,等. 基于知识图谱的大坝安全智能监控预警方法[J]. 工程科学与技术, 2024, 56(3):32-40.
- [3] PIOTR T O Ś, MANOWSKA A, HASSAN M W, et al. HADES: security and monitoring system for selected technological processes in polish underground mining[J]. Mining Machines, 2024, 42(2):129-138.
- [4] 辛恩承. 基于改进 YOLOV3 算法的受电弓安全状态检测技术研究[J]. 铁道机车车辆, 2024, 44(2):94-100.
- [5] 宋一鸣,刘永红. 基于人—资源—环境视角的智能矿山系统设计研究[J]. 包装工程, 2023, 44(增刊1):277-284.
- [6] 张卫国. 一种煤矿安全监控系统设备故障智能诊断实现方法[J]. 煤矿安全, 2024, 55(8):221-226.
- [7] 蔡晨晖,梁晓刚,师剑雄,等. 矿山视频大数据智能分析与安全生产监控平台研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(1):65-70.
- [8] 曹小明,张华兵,叶思斯,等. 结合 ECC 算法的电力监控网络智能接入协议[J]. 沈阳工业大学学报, 2024, 46(1):60-65.
- [9] 李玉星,董邵灿,胡其会,等. 油气管道第三方破坏预警技术现状[J]. 中国安全生产科学技术, 2023,

19(增刊2):115-121.

- [10] 王蓓,韩俊飞,李勇,等. 基于智能监控平台的电网安全预警技术研究[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(6):33-38.
- [11] 张晓辉,王恒,赵月川,等. 面向选煤厂的全数字化安全监控系统设计[J]. 洁净煤技术, 2023, 29(增刊2):739-744.
- [12] 张美莲,宋晨星. 隧道智能监测系统的数据采集、提取与分发研究[J]. 公路, 2023, 68(5):407-411.
- [13] 钟莉. 智能监控技术在提升公共安全中的作用及应用;评城市公共安全保障技术[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(6):251-252.
- [14] 王秀,刘保罗,刘永鹏,等. 汽车行止安全智能监控系统[J]. 计算机应用与软件, 2024, 41(2):340-344.
- [15] 牛广利,李天旻,薛广文,等. 长距离引调水工程智能安全监控预警系统研发及应用[J]. 长江科学院院报, 2025, 42(2):204-210.
- [16] 党王聪,董博,乔佳妮,等. 基于千眼视频智能分析的综合安全管理系统[J]. 煤矿安全, 2024, 55(12):236-242.
- [17] 姜枫,贺鹏,王刚,等. 隧道施工全过程安全管控与智能决策系统及其工程应用[J]. 隧道建设(中英文), 2024, 44(增刊2):266-285.
- [18] 贺耀宜,代左朋,杨耀,等. 采煤工作面 CH₄大样本数据感知关键技术及监测模式研究[J]. 工矿自动化, 2024, 50(11):17-25,91.
- [19] 冯陈佳,朱江,朱寅,等. 电力监控网安设备策略统一管理体系及其实践[J]. 信息安全研究, 2024, 10(5):481-488.

收稿日期:2024-09-27

(上接第281页)

- [13] 李二庭,史权,马聪,等. 生物降解稠油极性化合物负离子电喷雾傅里叶变换离子回旋共振质谱分析[J]. 石油实验地质, 2022, 44(3):515-521.
- [14] 胡天行,盛正卯,吴栋. 基于流守恒和傅里叶谱分析的混合型 Wigner-Poisson 方程组求解[J]. 计算物理, 2023, 40(2):248-257.
- [15] 陈方林,曹怡青,王雨田,等. 非线性傅里叶变换及其在光通信和超短脉冲表征领域的应用[J]. 中国激光, 2022, 49(12):238-257.
- [16] 张苏,张民,史亚香,等. 基于快速傅里叶变换-卷积神经网络的医疗设备多维生命周期管理系统的构建

研究[J]. 中国医学装备, 2025, 22(4):117-122.

- [17] 李雅倩,刘娟,郑君,等. 傅里叶变换红外光谱仪快速筛查化妆品中的磨砂颗粒[J]. 中国无机分析化学, 2024, 14(8):1109-1115.
- [18] 韩云翠,吕志远,刘玉涛,等. 基于傅里叶变换中红外光谱技术的浓香型基酒快速检测[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(1):272-278,285.
- [19] 刘庆森. 基于拉曼光谱和傅里叶变换红外光谱对牛肉腐败的快速无损预测研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2023.

收稿日期:2024-05-15