

# 振动传感数据异常波动云平台识别技术

尹国玉

华电科工股份有限公司 上海 200126

**摘要:** 针对振动传感数据在工业运维领域中故障异常点的发现速度问题,在云平台上搭建数据集成和管理的框架,对振动数据特点、振动数据采集传输、数据清洗标准化等进行全面的剖析,并提出异常波动的定义、分类及甄别判定规则。通过引入去噪、完备性监督和质量控制等方式来进行异常波动甄别的方法研究,提高了异常波动识别的准确性与可靠性。云平台集中化处理可以很快地获得设备异常信号,有利于对故障预警、健康管理提供支撑作用,降低了运维成本。

**关键词:** 振动传感数据;云平台;异常波动识别;数据质量管控;运维管理

## 引言

工业设备状态监测中,振动传感数据可以反映机械设备结构的健康状态,是工业设备状态监测和故障诊断分析中最基本的数据之一。随着工业4.0和工业互联网的发展以及云计算的发展,大量振动数据得以实时采集并远程传送至云端服务器集中存储,在此基础上可以实现基于云平台的振动数据管理模式。而振动信号本身即含有丰富的高频波动和多维异常信息,波动特征会受到工况、环境和设备结构等多种因素的影响,所以造成在实际工作当中可能存在较多的噪声、干扰、非典型异常等杂质数据。

## 一、振动传感数据管理及云平台数据集成流程

### (一) 振动传感数据的特性与管理要求

振动传感数据在各方面都存在高频度、不间断、多维度等特点,其中除了包括传统的加速度、速度、位移、频谱能量等多参数外,还有其他更多测量参数。常见的数据大小即能达到GB数量级,甚至更高到TB等级以上,由此也给数据分析过程带来了巨大的存储、计算压力。这类数据存在非平稳性和瞬态特征,往往会出现短周期内瞬变突变、幅度抖动、脉冲干扰等问题,这也会对采样精度及时间同步要求很高。另外由于振动信号受到外

界环境噪声、机械松动以及电磁干扰的影响,很容易产生信号畸变或者伪异常现象,因此数据管理工作还要注重存储空间的同时要保证数据的完整、准确和可追踪,并按照严格的技术标准来进行。

### (二) 振动数据上云的采集及传输方案

现场多用MEMS或者IEPE型振动传感器进行采样,经过模数转换之后实现采样数据的高精度数字化,同时将时间同步和采样数据压缩算法内置到采集终端上以降低数据冗余和带宽消耗<sup>[1]</sup>。通过工业以太网/5G/LoRa等多种方式采集和传输方式,根据数据量大小、时延容差以及传输距离等条件选择不同的方式。如果发生高频振动情况,则可以考虑用边缘计算的方式,在本地完成FFT变换、特征提取或异常事件初步判定等环节,只将特征值或是异常事件传给云端,尽量避免因为云系统高要求的时间而产生延迟性问题。云平台主要用于接收云后大数据,对其进行分布式存储,并提供跨地域的访问服务。

### (三) 数据入库、清洗及标准化流程

在进入云端之后,需要经过解码、时间戳校正、格式转换等一系列的预处理,才使各种采集源上传的数据能够在同一个时序线上对接。在清洗过程中要排除由电磁干扰、环境震动或是传感器出现故障所导致的异常数据,使用阈值法、滑动窗口统计或自适应滤波等算法检出异常脉冲、零漂或长周期无值的情况。同时将来自不同采集源的各种非工程量指标,统一封装成工程量指标,并搭建规范统一的标签以及元数据描述,最终得到多种参量综合对比分析的规范化数据集。根据不同的转速、

**作者简介:** 尹国玉,男,出生年月:1992年04月,民族:汉,籍贯:山东省菏泽市曹县,学历:本科,单位全称:华电科工股份有限公司,当前职称:工程师,研究方向:电气工程,单位省市邮编:200126。

工况来分别进行振动数据的幅值归一化处理、频带重采样处理、频谱能量归一化处理，从而减小不同工况给分析模型带来的影响。如图1所示：

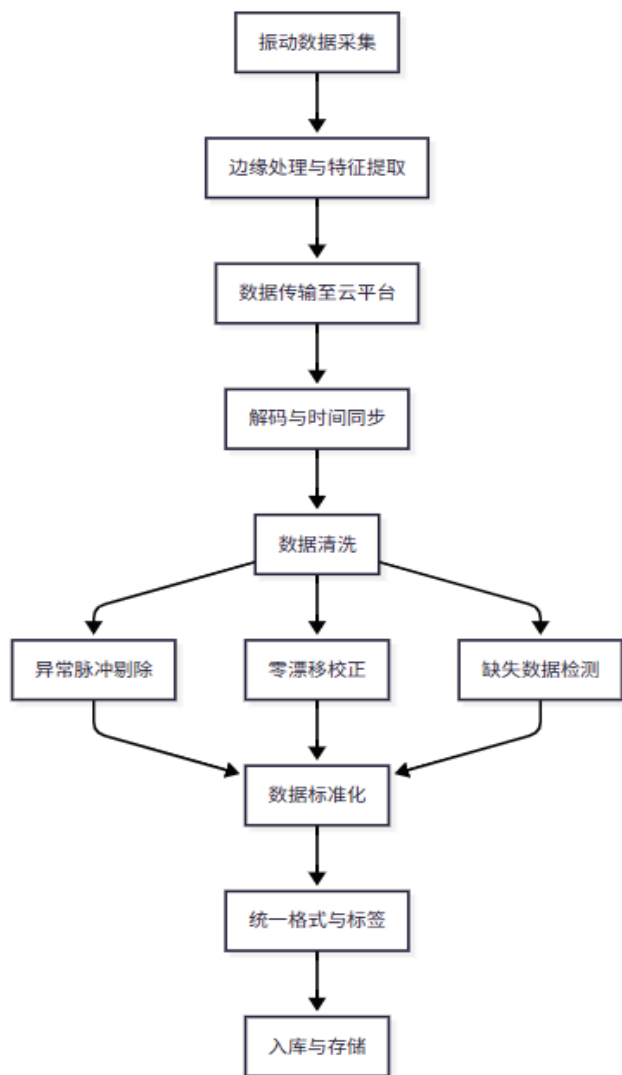


图1 振动传感数据云平台集成与标准化流程图  
二、振动传感数据异常波动识别流程与判定标准  
(一) 异常波动定义与分类

冲击性异常一般是由于轴承脱落、齿轮折断等因素引起的突发故障造成的，是瞬时出现的高幅脉冲信号。周期性异常主要是由机械不平衡、松动或机械结构缺陷等引起的，在频谱图上有明显的倍频特性<sup>[2]</sup>。而随机噪声异常是受到外部的电磁干扰或者外界震动的影响，在固定的频点处是没有一定规律的，对于该种情况较难检测。趋势漂移异常体现的是设备长时间存在的磨损、疲劳或润滑不好等问题，在信号上呈现均值或方差缓慢的变化，对不同类型的异常波动进行定义以及区分，有利于根据不同的类型选择适合的方法对其进行识别，实现

对故障的准确定位以及预警。

## (二) 异常波动识别流程在云平台的实现

基于云计算平台的海量数据计算能力和数据存储能力，以及先进的复杂算法，在海量的数据上能完成快速运算，能够很好的解决振动数据异常波动识别问题。通过数据接入层接收多源数据信息，再通过数据处理层，分别进行时域和频域特征提取，提取特征一般包括：峰值因子、峭度、均方根、频谱能量分布以及希尔伯特黄变换（HHT）分解结果。通过云平台将特征发送到终端服务器，利用多维度特征进行分析，系统利用阈值判定、统计模型以及机器学习的方法来进行初步筛查。常见的异常检测算法有：孤立森林、自编码器、基于概率分布的异常评分等，针对检测出来的可疑异常数据。

## (三) 振动数据异常甄别的判定规则

对时域信号而言，通常会通过比较时域均值、方差、峰因素和峭度大小等指标来判断当前信号是否已经偏离历史统计分布。如果某一指标值已经超过设置好的阈值，则说明存在异常，继续跟踪此指标的变化情况<sup>[3]</sup>。频域分析主要是针对频谱能量是否出现异常的聚集、是否有倍频或新增的频率分量出现等来分析设备是否存在局部损伤或结构缺陷，一般情况下与频谱模板计算相似度就可以判断出对应的设备是否存在该类问题。动态模型检测以自回归模型、小波包能量重构、LSTM序列表达式为代表的序列模型检测振动信号是否存在趋势漂移或周期性异常，达到早期识别微小故障的目的。不同条件下对不同设备类型，不同的运行速度、负载等因素进行判定规则的设计，需根据实际工程中各类不同工况对敏感度要求的不同对判定规则进行灵活调整。

## 三、振动数据异常甄别中的数据质量管控措施

### (一) 振动信号噪声与干扰剔除

振动信号常受到电磁波干扰、机械松动、环境振动、电源波动等多种干扰因素的影响，除了包含设备自身的振动信息之外还会有杂乱的非设备本身的振动，这会对异常情况进行判断时产生错误信号。在排除各种干扰信息后进行异常特征的判定才能保证最终结果的正确性。不同的干扰原因要用不同的去噪手段来消除干扰因素，对于高频随机干扰可利用小波包分解和能量阈值提取出信号的主要部分，从而排除掉结构上的波动。而周期性和谐波干扰则可以用自适应滤波器过滤掉这种干扰频率，但如果是在信号叠加了背景噪声时，就要使用经验模态分解（EMD）和希尔伯特-黄变换（HHT）来分离出瞬

时冲击信号和背景波动，这样才能保留住其故障特征。

### （二）数据完整性、连续性监控

云平台架构内，需要在数据接入层建立数据流实时监控，在持续获取的数据帧计数上，以数据帧时间戳对齐为基础，并且结合传输状态返回的信息，在整个过程中检测数据流是否出现中断或延迟的情况<sup>[4]</sup>。如有中断或者长时间的空缺可以使用时间序列插值、最小二乘法拟合或者采用机器学习时序补全算法的方式实现对短时数据缺省部分的填补，保证短时数据丢失不会引起后期的分析失准。而对于一些比较大的数据段丢失，则需要注意将其标记出来，以避免这部分数据污染进入分析中。另外，在多通道振动监测系统中，还需要对各通道的完整性进行监测，保证各个通道内的数据能按时间顺序排列和显示。云端一般会可视化仪表盘、报警手段和数据日志等汇集在一起，做到全程对数据流的追踪检测，这样可以在发生异常情况时获得对异常情况开展分析的良好环境。

### （三）异常波动检测流程的质控方法

质控保障手段通常包括从算法精度、参数优化和模型鲁棒性三方面实现，从算法层面上讲是通过对不同的算法进行互检来保证相同的数据集放到不同的模型中后，得到的检测结果具有一致性，并且能减少算法造成的误报与漏报情况。参数优化是在以往的工况数据的基础上，应用网格搜索、贝叶斯优化、遗传算法等确定合适特征与阈值组合，减少不同工况下的算法灵敏度差异。模型鲁棒性检验是在搭建了虚故障以及波动工况模型，用来测试检测流程是否具有较高的鲁棒性。从云平台质控的角度看，不能单单只关注算法本身，还要对算法之前的数据处理链路上所有相关的数据操作，比如数据清洗、特征提取、模型训练与推理等过程的每一个环节都要进行质控，而且每个阶段也要针对质控指标（如：识别准确率、误报率、处理时延等）进行过程跟踪。

## 四、云平台振动数据异常识别对运维管理的价值分析

### （一）异常波动识别对故障预警的支撑

基于高效计算能力和分布式存储能力的云平台可以对海量振动数据进行不断地实时分析，并运用多层次的阈值判别、模式识别，以及机器学习方法来检测出设备瞬间或短暂的微弱振动，不但能够发现已有的故障模式，还可以运用无监督算法对新故障的发生进行未知异常的识别和判定。预警系统基于云平台可以对各种可能

出现的故障做出概率预测，并根据设备的运行工况和设备的历史故障库产生一些多维度的风险指数给运行管理人员以参考依据，而且可以结合具体情景对预警设备状态告警阈值和应对措施实施动态化调整，尽量避免了误报、漏报情况的发生，提高了预警系统的准确度及反应速度。

### （二）对设备健康管理及优化运维的作用

通过长期采集并积累振动数据以及振动数据的分析处理得到的数据，形成云平台中设备全生命周期健康档案，形成设备运转状态的数字化画像。通过异常波动监测的结果，平台可以实时更新设备的健康指数，并按部位区分设备各个部位的健康等级，确定劣化/隐患部件，并给予运维人员相应计划，使运维方式逐渐从计划性维修转变为基于状态的预测性维护，减少过多的检修带来的不必要的支出和设备停机所造成的经济损失。对于运维环节还可以根据不同的工况下设备的振动特征判定设备运行效率以及能源的消耗水平，辅助生产管理人员进行生产调度及工艺参数调整，提高设备利用效率及生产效益等。如表1所示。

表1 基于振动数据异常识别的运维成效对比分析

指标	未应用异常识别技术	应用异常识别技术	改善幅度
年平均设备故障率 (次/台)	3.8	1.2	-68.40%
突发停机平均时长 (小时/次)	5.6	2.1	-62.50%
年均维修成本 (万元/台)	12.4	7.8	-37.10%
计划检修占比 (占总检修次数比例)	42%	78%	+36个百分点
运维人员响应时间 (分钟)	45	20	-55.60%

### （三）云平台集中识别对企业管理的意义

借助集中式异常检测来实现多厂多点的统一数据标准和质量规范，并打破信息孤岛实现信息资源共享及运维协同。企业可以透过集中化的异常检测系统快速掌握全网设备的健康状况，及时发现异常并对异常设备进行资源调配，最大限度的提高企业的运行效率以及管理透明度。同时也可以通过相关数据对企业目前运行状态进行数据分析，以此做好相关预警，降低停产成本。此外，云平台能够帮助企业实时准确的计算由于故障带来的停产损失、维保费用以及设备更新周期，更好的为企业提

供参考。集中化系统为后期引进的人工智能优化调度、智能排产、数字孪生等智能化技术均提供了重要的数据基础，在很大程度上提升了企业在智能制造和数字化转型的核心竞争力。

### 结论

振动传感数据异常波动的云平台识别技术是智能运维的关键内容，在整个智能运维体系里面，可以极大地加强数据采集和清洗以及数据的标准处理等环节，有效地加强运维过程中突发异常问题检测的有效性与可靠性。使用云平台，结合多种算法融合与质控手段，对微小异常波动数据快速捕获，使设备健康管理更趋向于预测性维护。集中化管理模式对企业运维资源进行整合的同时，为企业的数字化、智能化决策体系建立打下良好

的基础。

### 参考文献

- [1] 胡胜, 陈臣, 李文, 等. 基于窗口波动模式识别的纺纱过程质量波动异常预警[J]. 丝绸, 2023, 60(10): 53-61.
- [2] 曹靖. 基于分布式光纤振动传感的高压电缆局部放电在线监测[J]. 机电工程技术, 2025, 54(08): 168-172.
- [3] 戚建国, 宋章明, 代贤德, 等. 工业大数据技术在高端特殊钢质量管控的应用实践[J]. 中国冶金, 2025, 35(06): 24-35.
- [4] 王雪飞, 谢龙龙, 高娜, 等. 防化监测数据通信传输质量优化策略——增强全流程质量管控体系[J]. 中国品牌与防伪, 2025, (07): 200-201.