

# 《板带轧机动特性检测 第2部分：分析方法》

## 团体标准编制说明（征求意见稿）

### 一、任务来源，工作简要过程，主要参加单位和工作组成员等

#### 1. 任务来源

根据中国钢协〔2025〕80 号文《中国钢铁工业协会关于下达2025年第二批团体标准制修订计划的通知》，由燕山大学负责牵头制定《板带轧机动特性检测 第2部分：分析方法》一项行业标准，计划编号：2025069。

#### 2. 工作简要过程

2025年3月，燕山大学向冶金机电标准化技术委员会提交了制订《板带轧机动特性检测 第2部分：分析方法》团体标准的建议，在冶金机电标委化技术委员会的积极推荐下，得到了中国钢铁工业协会的批复，批复文号为钢协〔2025〕80号，要求完成时间：2026年前完成报批。

2025年3月18日在河北秦皇岛召开起草工作组成立大会，确定由燕山大学担任组长单位，牵头成立标准起草工作组，同时确定了标准的内容、范围、组织形式和工作方式等。

2025年4月至2025年7月，标准起草工作组开展项目调研和资料收集工作，广泛收集、分析国内外相关技术文献和资料，同时对板带轧机动特性检工程应用经验等进行调研、归纳和总结，这些工作为标准起草打下了坚实的基础。

2025年7月至2025年8月起草完成《板带轧机动特性检测 第2部分：分析方法》行业标准（草案）及其编制说明。

2025年8月15日在河北秦皇岛召开工作会议，对标准草案进行了讨论，并形成下一步修改意见。至2025年9月，完成《板带轧机动特性检测 第2部分：分析方法》（工作组讨论稿）及其编制说明。

2025年9月22日，初步形成《板带轧机动特性检测 第2部分：分析方法》（征求意见稿）及编制说明并上报冶金机电标委会。

#### 3. 主要参加单位和工作组成员

本标准主要参加单位包括燕山大学、重庆理工大学、太原科技大学、河北工程大学、邯郸钢铁集团有限公司、首钢股份公司迁安钢铁公司、中国重型机械研究院股份公司、北京中冶设备研究设计总院有限公司等。

主要起草人：彭艳、孙建亮、邢建康、张阳、张明、陈子刚、东占萃、刘云飞、王瑾、马超、周颖。

所做的工作详见表1所示，主要包括：工作组组长全面主持各项标准起草、会议组织与具体推进工作；工作组副组长协助组长工作，负责标准的修订与审核；主要执笔人负责对《板带轧机动特性检测 第2部分：分析方法》进行总结和归纳，负责本标准的具体起草、编制和修改工作，以及对各方面意见及建议进行归纳和整理；相关同志负责对国内外板带轧机动特性检测的现状与发展情况进行全面调研；相关同志负责国内外相关技术文献和资料的收集、分析及资料查证；相关同志负责板带轧机动特性检测，分析方法的工艺验证、使用技术研究与效果评价及标准制定的指导与协调工作。

表 1 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

| 序号 | 参加单位及人员                              | 具体工作                                                                  |
|----|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1  | 重庆理工大学、燕山大学：彭艳                       | 工作组组长，全面主持各项标准起草、会议组织与具体推进工作。                                         |
| 2  | 燕山大学：孙建亮                             | 工作组副组长，协助组长工作，负责标准的修订与审核。                                             |
| 3  | 燕山大学：邢建康、马超                          | 主要执笔人，负责对板带轧机动特性检测技术和方法进行总结和归纳，负责本标准的具体起草、编制和修改工作，以及对各方面意见及建议进行归纳和整理。 |
| 4  | 太原科技大学：张阳<br>河北工程大学：张明               | 负责板带轧机动特性检测技术的质量检验、使用技术研究与效果评价及标准制定的指导与协调工作。                          |
| 5  | 邯郸钢铁集团有限责任公司：陈子刚<br>首钢股份公司迁安钢铁公司：东占萃 | 负责对国内外板带轧机动特性检测技术的现状与发展情况进行全面调研。                                      |
| 6  | 中国重型机械研究院股份公司：刘云飞                    | 负责国内外相关技术文献和资料的收集、分析及资料查证。                                            |
| 7  | 重庆理工大学：王瑾                            | 负责内容勘误和技术支持。                                                          |
| 8  | 北京中冶设备研究设计总院有限公司：周颖                  | 组织协调                                                                  |

## 二、标准化对象简要情况及制修订标准的原则

### 1. 标准化对象简要情况

轧机行业正从“重载低速”向“高刚度-高速-高精度”演进，辊系、齿轮箱和液压压下装置在额定转速下会同时出现扭转、垂直与水平耦合振动，且故障激励既包含周期性受迫分量，也包含摩擦冲击触发的自激分量。这种多源、强耦合的动态响应使传统借鉴通用机械振动条文的做法难以给出准确而可比的定量评价，导致同一设备在不同生产线、不同厂区得到的阈值判定和故障结论往往互不一致。另一方面，现代轧制生产强调全流程数据驱动的状态监测。从空载、咬钢到轧制、抛钢，各阶段工况-载荷-速度急剧变化；振动信号呈现明显的非平稳性和高频冲击特征。现场采集的三向加速度序列经常伴随缺失、重复与随机噪声，若无统一的缺陷校正、单位标准化与重采样准则，任何后续的时域-频域-时频分析都会引入模型偏差。

数字化智能诊断的推广又提出了端到端一致性的更高要求。时频指标体系（RMS、峭度、STFT、WT 等）和六自由度动力学模型只有在测点布置、采样参数到特征提取全过程保持标准化，才能支撑跨线迁移的故障模板与鲁棒神经网络分类器。缺乏这种统一，企业往往需要重复标定模型，既增加维护成本，也延缓了对异常振动的早期预警。

针对上述痛点，《板带轧机动特性检测 第2部分：分析方法》以“测点-工况-指标-模型”为框架。通过规定典型测点与四阶段工况、给出数据清洗-重采样通则，意在建立可复制、可共享的振动大数据基础，保证行业内振动评价和智能诊断结果的横向可比，让从业人员及时掌握轧机状态，服务于生产质量、降本增效与智能维保。因此，该标准的制定不仅填补了国内外专属规范空白，同时也是推动轧机制造与运维迈向数字化、绿色化的重要技术支撑。

## 2. 产品主要用途及性能情况

板带轧机动特性检测标准是针对轧机全流程旋转部件与非旋转部件的状态监测与故障诊断技术规范。该标准通过规定测点布置、信号采集、时域-频域-时频域协同处理及动力学模型校核等流程，对机架、液压压下缸、辊系轴承座和传动轴等关键部位的振动数据进行统一采集与分析，以实现扭转、垂直、水平三类典型振动及其自由振动、受迫振动、自激振动机理的快速判别。鉴于不同轧机型号、轧制工艺参数、轧辊结构与现场环境差异显著，标准对采样频率、方向性灵敏度、数据清洗和重采样策略给出了可调区间，并将振动信号的优势频率、模态振型及多尺度能量分布作为核心性能指标，以保证分析结果在低噪高耦合工况下仍具有可重复性与可比性。在应用层面，标准提供了常见故障（如齿轮、轴承等）的特征频率计算与智能分类模型标准，支持根据型号、负荷及磨损程度对振动模

式进行个性化扩展，对于其他轧机故障提出了采用深度神经网络分类的标准化建议；成品检验一般以供需双方技术协议中约定的加速度阈值、功率阶次分布、混淆矩阵识别精度等量化指标为准，并通过对比在机？在线周期或轧制吨位来综合评价实施效果。

### 3. 标准制定的原则

(1) 规范性要素的规定、编写结构及格式按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》编制。

(2) 本标准以制定方式进行起草。

(3) 本标准的制定主要参考了表2所列的标准或文件，并结合国内钢铁企业板带轧机动特性分析的实际应用情况及验证试验结果进行编写，以保证本标准技术指标的先进性、实用性和经济性。

表 2 参考的相关标准

| 序号 | 标准代号              | 标准名称                          |
|----|-------------------|-------------------------------|
| 1  | GB/T 33223-2016   | 轧制设备 术语                       |
| 2  | GB/T 41095-2021   | 容积式压缩机机械振动测量与评价               |
| 3  | GB/T 9239.12-2021 | 具有挠性特性的转子的平衡方法与允差             |
| 4  | GB/T 29716.3-2021 | 时频分析方法                        |
| 5  | GB/T 19873.3-2019 | 机器状态监测与诊断 振动状态监测 第3部分:振动诊断指南  |
| 6  | GB/T 24610-2019   | 滚动轴承 振动测量方法                   |
| 7  | GB/T 29716.4-2018 | 机械振动与冲击 信号处理 第4部分：冲击响应谱分析     |
| 8  | GB/T 29716.2-2018 | 机械振动与冲击 信号处理 第2部分：傅里叶变换分析的时域窗 |
| 9  | GB/T 33199.1-2016 | 机械振动 旋转机械扭振                   |
| 10 | GB/T 29716.1-2013 | 机械振动与冲击 信号处理 第1部分：引论          |
| 11 | GB/T 6075.1-2012  | 机械振动 在非旋转部件上测量评价机器的振动 第1部分：总则 |
| 12 | GB/T 2298-2010    | 机械振动、冲击与状态监测 词汇               |
| 13 | JB/T 10237-2014   | 滚动轴承 圆锥滚子轴承振动(加速度) 技术条件       |

### 三、标准主要内容确定依据

燕山大学与邯郸钢铁集团有限责任公司、首钢股份公司迁安钢铁公司等紧密合作，先后承担了《1580 热轧轧制力检测及精轧传动设备智能诊断模型研究》、《2160 轧机状态分析及 1580 轧线液压系统优化》等多个科技项目，对轧机系统振动机理与异常分析进行

攻关研究、现场验证与推广应用。

### 案例一：首钢股份 1580mm 轧机振动分析

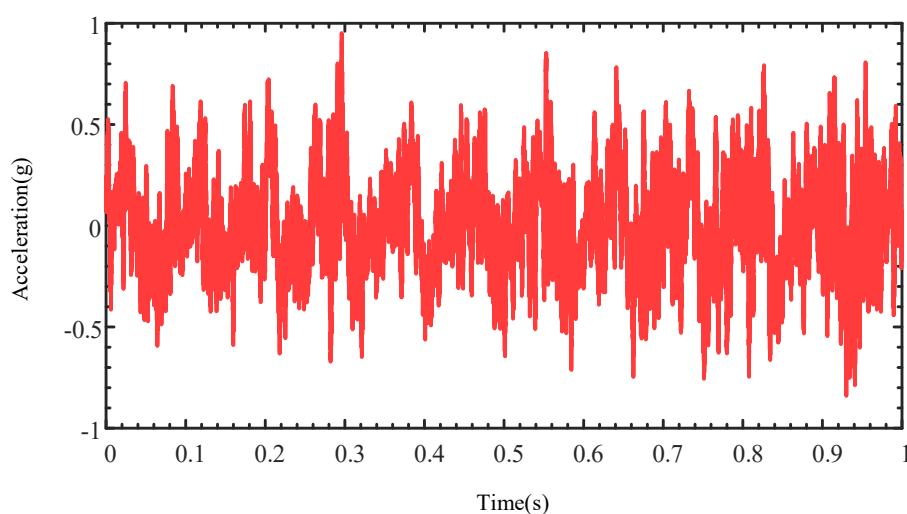


图1 振动信号时域图

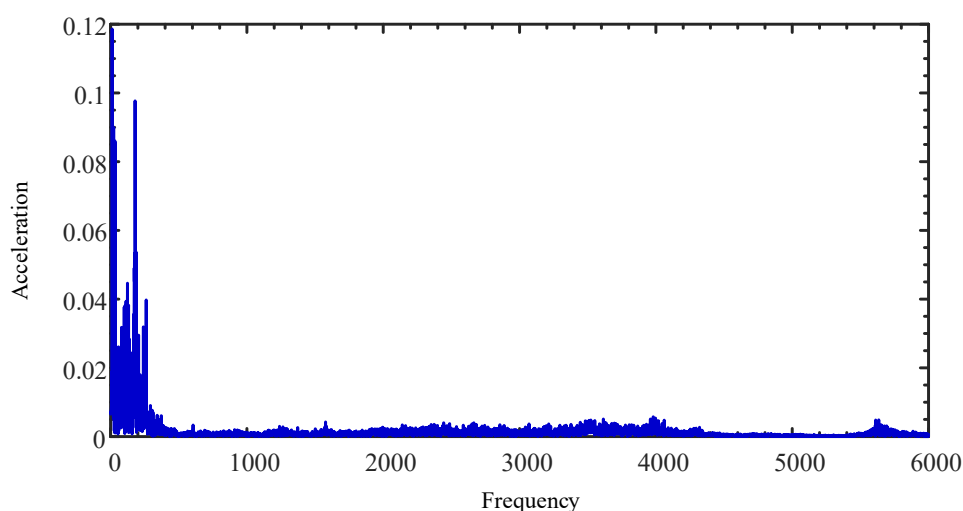


图2 振动信号频谱图

图 1、图 2 所示为 F1E 立辊轧机减速机轴承（滚动体表面存在损伤）的垂直振动信号时域图和频谱图，分析过程中，需要考虑轧制现场噪声的影响，并结合轴承的振动机理进行分析。轴承运转过程中，输入轴/输出轴施加的载荷由轴承内圈传递至外圈。因此，如果轴承外圈发生故障，滚动体经过故障点时会产生幅值相同的冲击振动。理论上，外圈故障通常不会引起谐频或边频的调制现象。而当轴承内圈或滚动体发生故障时，由于它们随轴旋转，当故障部位进入承载区时，不同接触位置会产生不同振幅的冲击脉冲，从而引起幅度调制信号。轴承滚动体发生的缺陷（如剥落、裂纹、点蚀）在经过内外圈滚道表面时也

会产生冲击振动，并伴有振幅调制现象。轴承的常见故障特征频率计算公式如下：

内圈故障特征频率：

$$f_i = [\frac{r}{60} \times \frac{1}{2} \times n(1 + \frac{d}{D} \cdot \cos \alpha)]$$

外圈故障特征频率：

$$f_o = [\frac{r}{60} \times \frac{1}{2} \times n(1 - \frac{d}{D} \cdot \cos \alpha)]$$

滚动体故障特征频率：

$$f_b = \frac{r}{60} \times \frac{1}{2} \times \frac{D}{d} \times \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \cdot \cos^2(\alpha) \right]$$

式中：r 为轴承转速；n 为滚动体数目；d 为滚动体直径；D 为轴承节径； $\alpha$  为滚动体接触角。

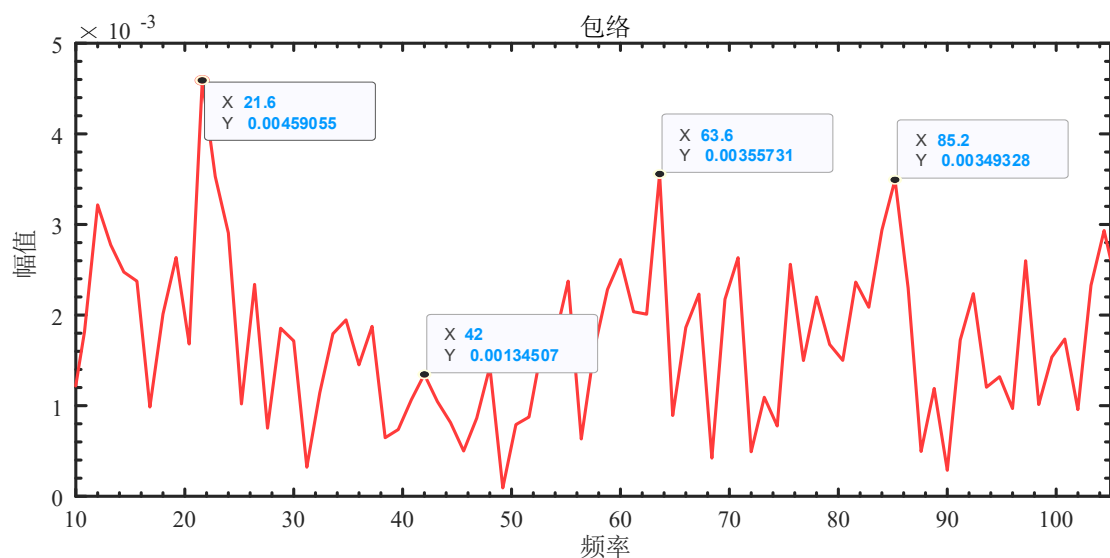


图3 故障特征频率图

图 3 中结果可以看出，经过信号分析算法处理后，成功从现场高噪声的振动信号中提取到 21Hz 左右的故障特征频率，再结合轴承的振动特性分析可以清楚定位故障部位。

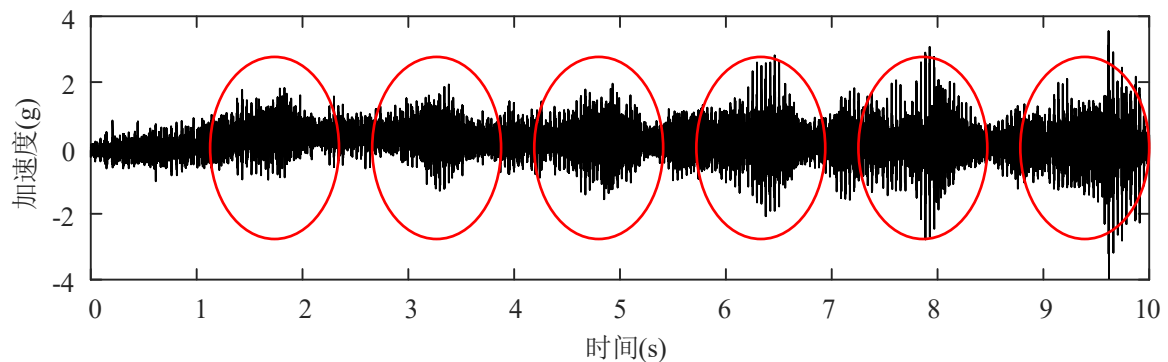
#### 轧机振动分析流程

| 序号 | 内容                                                       |
|----|----------------------------------------------------------|
| 1  | 数据采集：三向加速度传感器采集轧机检测部位水平、垂直以及轴向振动信号，采样频率在 2000Hz-16000Hz。 |
| 2  | 数据清洗：包含高质量振动信号选取、缺失值线性插值、重复帧去重步骤。                        |
| 3  | 信号增强：小波变换、经验模态分解、变分模态分解进行信号特征增强。                         |

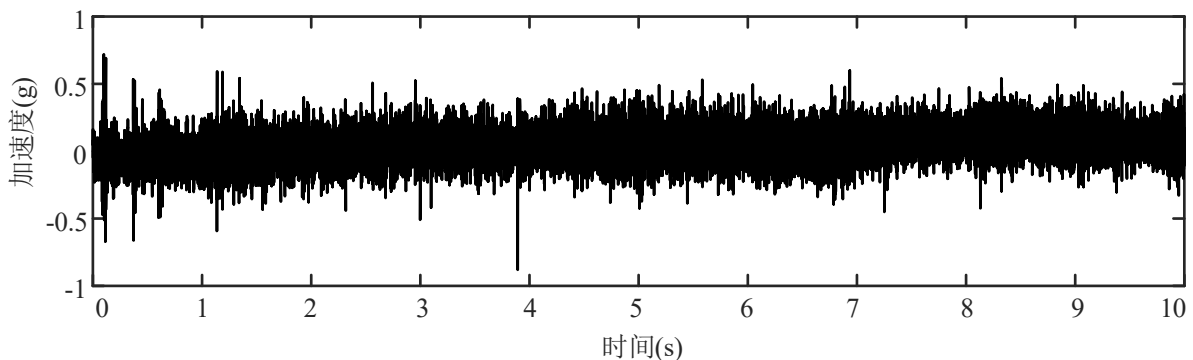
|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 4 | 特征重构：时域统计特征、频域统计特征、时频域统计特征选取增强频带重构信号。 |
| 5 | 故障判别：分析检测部位振动机理，对比分析故障部位。             |

## 案例二：首钢股份 2160mm 轧机轧辊轴承振动分析

选取 1#轴承包与 2#轴承包轧制阶段振动信号时域如图 4 所示，两组轴承包分别代表轴承滚动体裂化与健康状态的振动信号。从时域信号中可以很容易发现 1#轴承包其存在相对明显的周期性冲击波型，而 2#轴承包并没有明显的周期性冲击波型，且 2#轴承包的振动信号冲击幅值也远小于 1#轴承包生产时所产生的冲击幅值。由此，可从其时域波形初步判断 2#轴承包轴承状态要好于 1#轴承包。



(a) 1#轴承包振动时域信号



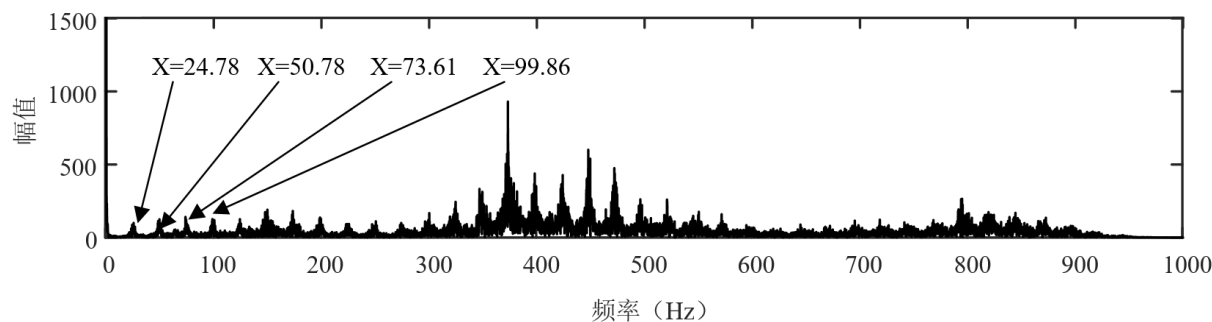
(b) 2#轴承包振动时域信号

图4 各轴承包时域信号

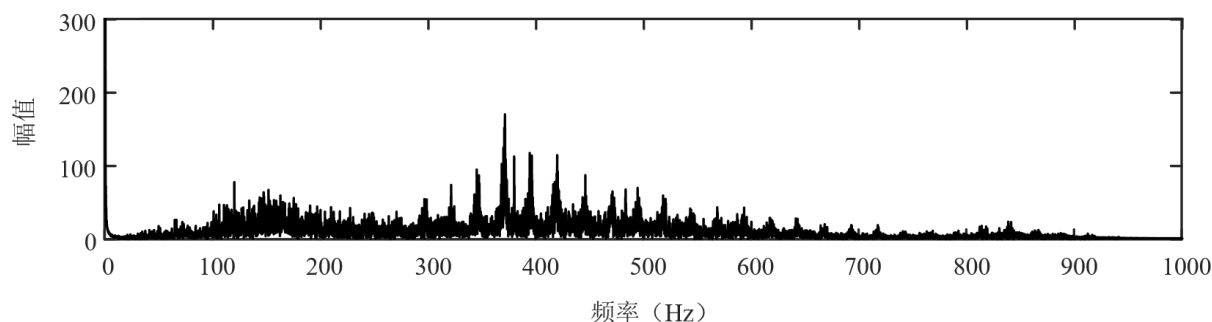
时域特征值是衡量振动信号特征的重要指标，通过时域特征值可对轴承状态进行量化表征，本次选取信号平均值、有效值、峰值、峰值因子、峭度、波形因子、脉冲因子和裕度因子 8 个时域特征指标对采集的轴承振动信号进行量化分析。

将 2 套轴承包进行快速傅里叶变换得到的频谱图如图 5 所示，其中图 5(a)、图 5(b)分别为 1#、2#和轴承包工作时振动信号的频域图，从图中可以看出。1#轴承包产生的振动信

号可以找到 25Hz 左右的基频以及其高频谐波；2#轴承包在频域上则难以找到明显的基频，证明其轴承状态较好。



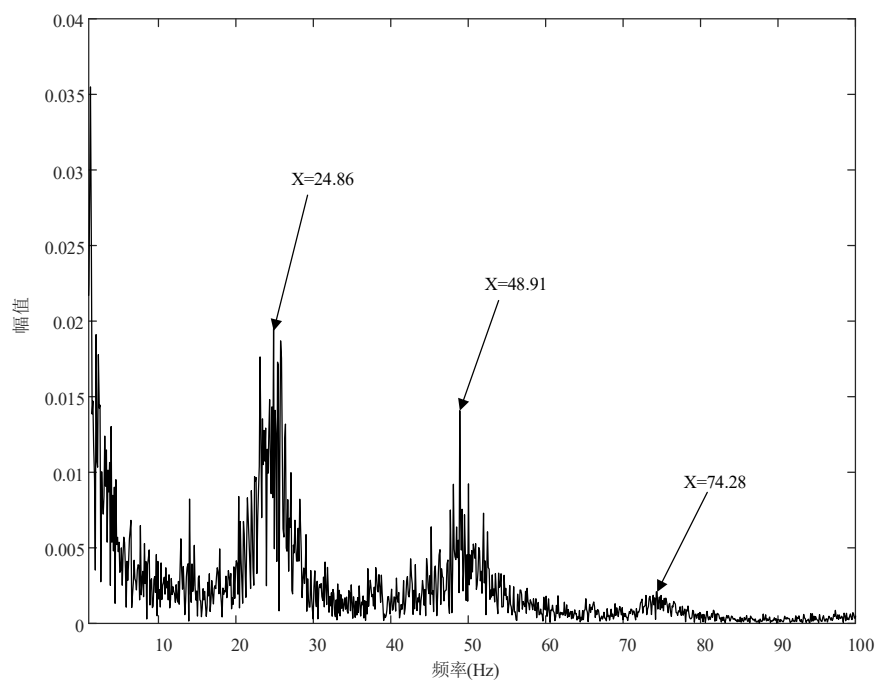
(a) 1#轴承包振动频域信号



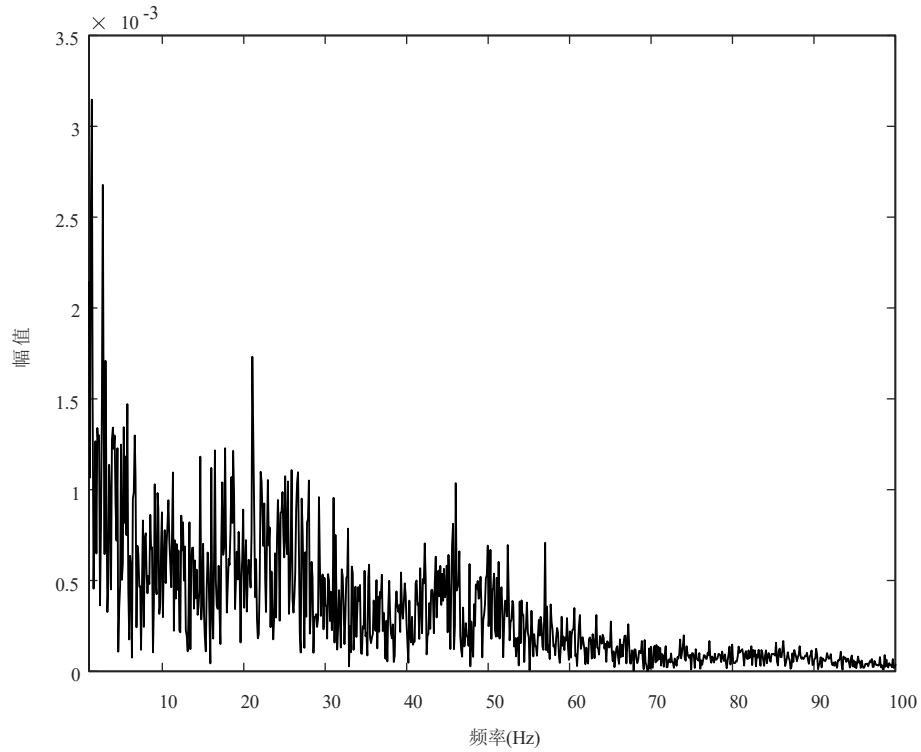
(b) 2#轴承包振动频域信号

图5 各轴承包频域信号

对两套轴承包分别进行包络解调，其解调频谱如图 6 所示，1#轴承包产生的振动信号在解调频谱中可以清晰找到 25Hz 左右基频以及其高次谐波，而 2#轴承包产生的振动信号经包络解调后仍没有明显的基频，证明其轴承状态好于 1#轴承包。



(a) 1#轴承包络频谱



(b) 2#轴承包络频谱

图6 各轴承包振动信号包络频谱

轧机轧辊轴承振动分析流程

| 序号 | 内容                                                       |
|----|----------------------------------------------------------|
| 1  | 数据采集：三向加速度传感器采集轧机检测部位水平、垂直以及轴向振动信号，采样频率在 2000Hz-16000Hz。 |
| 2  | 数据清洗：包含高质量振动信号选取、缺失值线性插值、重复帧去重步骤。                        |
| 3  | 信号增强：小波变换、经验模态分解、变分模态分解进行信号特征增强。                         |
| 4  | 特征重构：时域统计特征、频域统计特征、时频域统计特征选取增强频带重构信号。                    |
| 5  | Hilbert 包络解调：带通滤波器滤波后解调分析。                               |
| 5  | 故障判别：分析检测部位振动机理，对比分析故障部位。                                |

两个案例均成功从现场强噪声中提取到与理论一致的轴承故障特征频率(≈21 Hz与≈25 Hz)，并与包络谐频结构互证，定位滚动体/滚道失效类型，验证了标准的清洗-增强-重构-判别全链路可操作性。除此之外，本标准还具有以下显著优点：

1. 鲁棒性：在空载/咬钢/稳态/抛钢多工况下，统一的采样与预处理通则（2–16 kHz、缺失/重复校正、单位统一与重采样）显著降低了工况漂移对特征与模型输出的影响。
2. 可迁移性：基于标准化特征，深度网络可由1580 mm迁移至2160 mm机组，仅需小样本微调即可与传统频谱-包络证据保持一致判定，支撑跨机组、跨钢厂的横向可比。
3. 预警能力：与通用“整体速度/位移阈值分区”方法相比，本标准方法在早期异常识别方面更灵敏，可将故障提前发现时间由数天拓展至“2–3周（以企业历史数据为基线），并降低误报率与非计划停机风险。
4. 落地产出：形成了与本标准一致的测试点位配置、数据字典与标签规范；沉淀可复用的轴承故障特征样本与模型模板，为后续“推荐性行业标准”实施与企业级数据库建设提供直接素材与判据。

为便于读者阅读，按本标准文本条款号逐一说明主要条款的编制内容。

## 1. 范围

本文件在 GB/T 33223—2016 框架下，规定了轧机装备旋转与非旋转部件表面振动的分析方法，界定了分析对象与适用边界条件，旨在为轧机振动信号获取后的规范化处理与特性评估提供依据。

本部分覆盖的对象包括但不限于机架、液压压下缸、辊系轴承座表面以及传动接轴等关键部位的振动分析。

本部分的分析准则适用于额定工作转速工况下开展轧机振动特性分析的全过程。

## 2. 规范性引用文件

本标准规范性引用文件主要引用实施本标准所涉及的轧制装备与机械振动测试的术语、轧机产线验收标准以及传感器安装标准等通用要求及标识等国家标准或行业标准。

## 3. 术语和定义

本标准采用《GB/T 33223-2016 轧制设备 术语》、《GB/T 2298-2010 机械振动、冲击与状态监测词汇》确定轧机振动测试术语，并对新增的轧机振动测试术语作了说明。

#### 4. 信号来源及基本参数

对被测轧机的信号来源及基本参数提出了要求。

#### 5. 振动数据处理

对本标准使用的振动信号处理方法提出了要求。

#### 6. 振动分析模型开发

对轧机被测位置对应的振动模型提出了要求。

### 四、国外相关法律、法规和标准情况的说明（对强制性而言）

本标准为首次制定，目前国内尚无与之对应的国家标准和行业标准。标准定位聚焦于轧机振动信号的获取、数据治理与智能化分析评定方法，服务于过程监测、早期预警与运维决策，属于方法类技术标准。

与其他相近标准的对比情况：经资料查阅，行业标准 GB/T 41095《大型旋转机械振动测量与评定》、GB/T 29716《轧机振动测量与评定通则》以及 ISO 20816-1 / ISO 10816-3 与本团标有所关联。在数据处理与分析环节，本标准构建了“缺失-重复数据校正、单位统一、重采样”的清洗流程，并引入 RMS、峭度、STFT、WT 等 30 余项时-频特征，辅以轧机六自由度动力学模型校核优势频率，实现自由、受迫、自激振动的甄别。现有标准主要采用整体速度或位移阈值分区（A/B/C/D 级），不涉及频段自适应分解、振型比对与非平稳冲击特征提取，难以应对轧制过程中的高频共振与强噪声干扰。

基于上述差异化设计，本标准在早期异常预警、工况自适应与智能化运维方面具备更高的灵敏度与可扩展性；在典型生产样本与验证场景下，可将故障提前发现时间由“事后/临停前数日”前移至 2—3 周，并显著降低误报率与由此带来的非计划停机损失。

### 五、与有关现行的方针、政策、法律、法规和强制性标准的关系，以及知识产权的问题

本标准符合现行的方针、政策、法律、法规和强制性标准，与其他相关标准相协调。

本标准属于我国自主研发制定，将填补板带轧机动特性检测技术规范空白，确保实施后轧机的使用性能和寿命，促进行业规范、健康、快速发展，推动轧钢行业绿色制造技术的不断进步。

在标准制定过程中未检索到同类国际、国外标准以及相关专利，不涉及知识产权问题。经与国内外钢厂同行交流，也未有普遍开展板带轧机动特性检测应用案例。

## **六、 对征求意见及重大分歧意见的处理经过和依据。**

无。

## **七、 对该标准作为强制性标准或推荐性标准的建议，若是强制（条文）性标准应说明强制的理由**

建议作为推荐性行业标准。无强制性条款。

## **八、 标准水平建议，预期的社会经济效果**

本标准依据 GB/T 1.1—2020 起草，面向轧机装备振动分析的“端到端”方法体系：在对象范围上覆盖机架、液压压下缸、辊系轴承座与传动接轴等关键部位；在流程上明确信号来源与测点、典型工况（空载、咬钢、轧钢、抛钢）及基本参数；在算法层面系统给出时域/频域/时频域（含 STFT、WT、EEMD）分析，并辅以固有特征计算与振型对比以判别自由、受迫与自激振动；同时提出数据清洗与重采样的统一处理规范，配套“典型故障特征标准及其使用方法”，构成可复用的分析与判据体系。综合上述覆盖度与可实施性，建议将本标准技术水平定位为：以方法体系完整性与工程适用性为导向的行业方法标准，满足工业现场推广应用的要求。

本标准水平建议：国际先进。

## **九、 贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容），根据国家经济、技术政策需要和该标准涉及的产品的技术改造难度等因素提出标准实施日期的建议**

本标准所确立的“振动信号获取—预处理—多域分析—模型化诊断”的技术路线与行业现有传感配置、数据处理与分析能力相匹配（含测点布置与三向采集、数据清洗与重采

样、时域/频域/时频域分析及模型化诊断流程），在当前企业装备与检测水平条件下具备实施可行性，建议本标准自发布之日起尽快组织实施，并在典型产线开展试点验证与人员培训，形成数据闭环与持续改进机制。

#### **十、 废止有关标准的建议**

本标准不涉及需要废止的相关标准。

#### **十一、 重大内容的解释和其它应予说明的事项**

无。

《板带轧机动特性检测 第2部分：分析方法》

标准起草工作组

2025年9月