

摘要：设计了一种通过对转炉冶炼噪声信号、氧枪振动信号和火焰图像信息的分析，在线实时监测炉内化渣过程、预报喷溅和返干的系统。系统主要包括声音信号采集模块、振动信号采集模块、图像采集模块、数据处理模块以及控制软件。现场实验证明，系统可以指导化渣过程，基本避免了喷溅和返干的发生，实现了平稳炼钢。

关键词：转炉炼钢；喷溅；返干；多传感器融合

中图分类号：TF345 文献标识码：B 文章编号：1006-883X (2015) 03-0037-05

收稿日期：2015-01-05

基于多传感器融合的转炉化渣监控系统

何涛焘 田陆

湖南镭目科技有限公司，湖南长沙 410100

一、引言

化渣是转炉炼钢中一个关键过程，对化渣状态的准确判定，可以对冶炼过程进行及时修正，能够使得炼钢过程平稳进行。化渣过程是否平稳直接影响到钢的质量与炼钢效率，期间若发生的喷溅和返干更会造成严重浪费甚至引发人身伤亡、设备损坏等事故，还影响到降罩除尘与煤气回收^[1-2]。

传统化渣过程中由摇炉工监听化渣噪声和观察炉口火光等来判断熔池化渣状态，并通过调整氧枪高度等控制手段来保证化渣的平稳，避免喷溅或返干的发生。人工判断受制于经验与熟练程度，存在稳定性和准确性差的问题，但也充分证明化渣噪声与化渣状态的相关性^[3-4]。传统的音频化渣是通过安装在转炉炉口的拾音器采样化渣噪声，经A/D转换送至计算机进行噪声分析与处理，通过分析某单一频点的噪声信号并与经验阈值比较以进行喷溅或返干的报警，这种技术存在稳定性差、误报多等问题。通过分析冶炼时氧枪振动信号也是一种有效的化渣监控技术^[5]，但这种方法存在调试周期长、维护频率高等问题。

为解决现有化渣监控设备中存在的问题，提高化渣状态监控的稳定性和准确率，降低设备维护工作量，我们经过长期的现场实验，开发了一种RAMON转炉

化渣监控系统。

二、系统原理与组成

1、系统原理

转炉在吹炼过程中，超音速氧气流股和固相颗粒（未熔炉渣和高熔点硅酸盐）发出很强的噪声，这种噪声在开吹和严重返干时（没有液体炉渣覆盖）强度达到最大。当泡沫渣形成后，在氧枪喷头以上的泡沫渣吸收了氧气流股发出的噪声。渣层越厚，吸声的泡沫渣高度越大，从炉内传出的噪声强度越低。通过环境噪声的有效排除，采样系统检取的炉内吹炼噪声强度就可以间接的反映炉内化渣情况。

与此同时，氧枪在吹氧过程中受到氧气流的反作用力、熔渣浮力、及不断翻滚的熔渣泡沫冲击力，从而产生振动。炉渣熔化状态不同，氧枪受到的作用力也不同，通过检测和分析氧枪的振动频率与幅值也可以反映炉内化渣情况。炉口火焰在冶炼的前中后期呈现不同的亮度特征，发生喷溅时火焰亮度会瞬时增强，通过实时分析火焰图像亮度特征可以计量喷溅强度等级，动态调整喷溅和返干预警线，提高化渣状态预报准确率。

2、系统组成

本系统主要由炉口噪声信号采集模块、氧枪振动信号采集模块、火焰图像采集模块、信号处理模块、系统软件等组成，如图1所示。转炉冶炼过程中分别由噪声信号采集模块、氧枪振动信号采集模块、火焰图像采集模块、信号处理模块采集和处理冶炼过程中的冶炼噪声、氧枪振动信号、炉口火焰信息，并通过系统软件中的化渣预报模型对冶炼过程中的化渣情况进行监控预报。

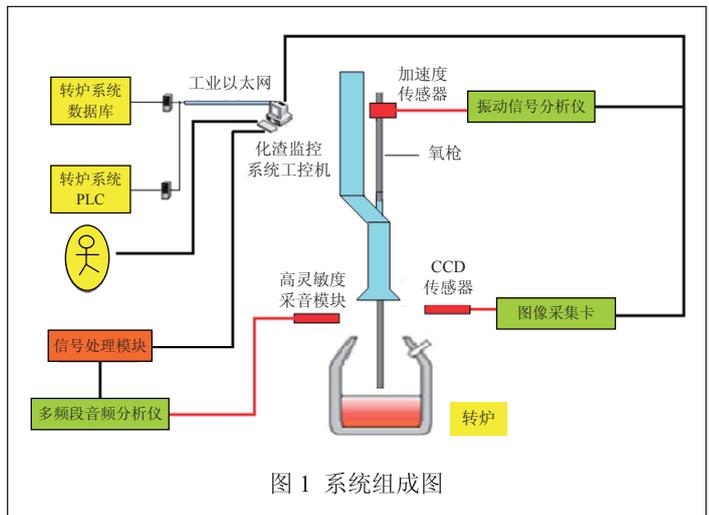
炉口噪声采集模块由高灵敏度采音模块和多频段音频分析仪组成，可以同时检测4-8个特征频段的音频信号，全面覆盖各类转炉在炉龄和炉衬变化引起的声音频段变化。从根本上解决了同类设备在使用几个月后，由于炉龄和炉衬变化引起噪声特征频段变化引起的预警准确率降低的问题。本模块与转炉系统实时连接，在每炉冶炼结束后由多频段音频分析仪控制的环形吹扫装置对系统进行10~60s的吹扫，有效减轻工人维护强度和设备的可靠性。

氧枪振动信号采集模块由加速度传感器和振动信号分析仪组成。采用便携式机械保护装置，解决了由于传感器固定原因引起的振动信号偏差的原因，并延长了传感器的使用寿命。振动信号分析是通过加速度传感器检测氧枪在正常冶炼与喷溅和返干时期的信号频率和幅值的差异性。

火焰图像采集模块由镜头、彩色CCD传感器和图像采集卡组成，实时采集提取火焰图像，若出现喷溅则图像亮度会瞬时突变，通过突变值的大小就可以计量喷溅强度的等级、记录该炉次数据并反馈给化渣预报模型。

三、现场应用分析

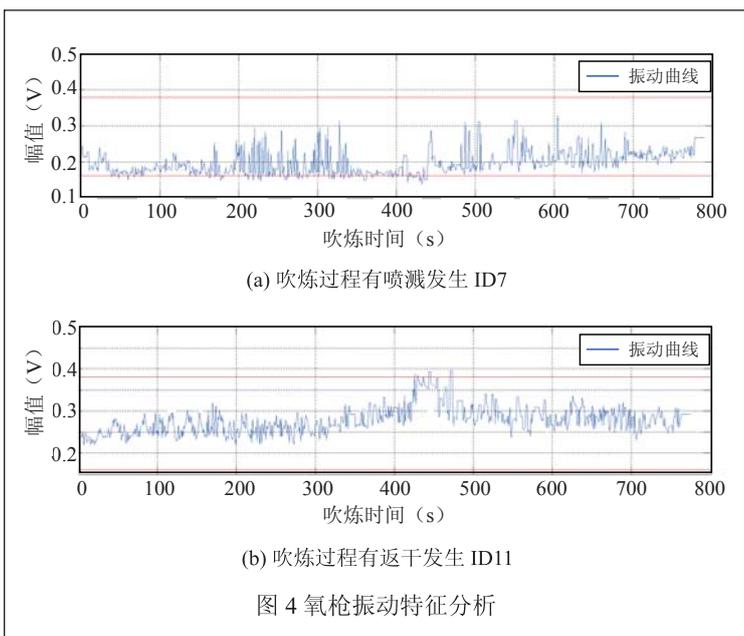
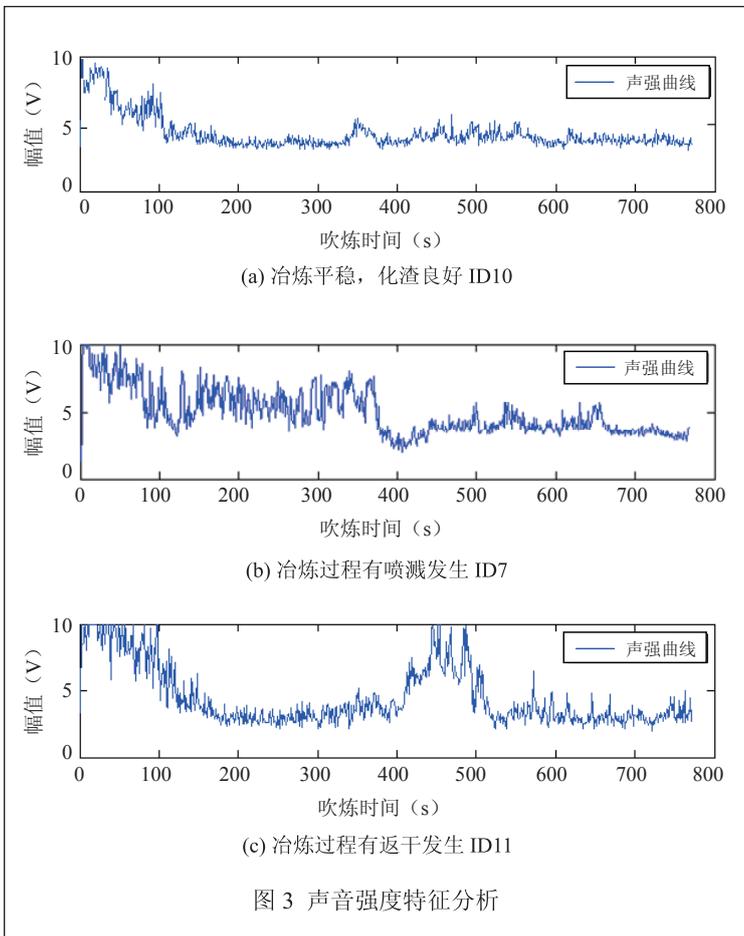
化渣监控系统的高灵敏度采音模块装



在转炉挡火墙上，火焰图像分析模块装于主控室观察窗上方，加速度传感器分别安装在A、B氧枪上；多频段音频分析仪、振动信号分析仪和工控机安装在主控室中，并从主控室中接入转炉PLC信号和转炉数据库信号。系统在C钢厂6#转炉的现场运行稳定，如图2所示。

1、炉口噪声分析

研究表明转炉吨位越大吹炼过程中发出的噪声频率越低，我国现有的转炉吨位各不相同，其特征频率一般分布在130~400Hz之间。RAMON转炉化渣监控系统可以同时检测多个特征频段的音频信号，全面覆盖各类转炉在炉龄和炉衬变化引起的声音频段变化。在系统调试期间，设置300炉冶炼数据作为特征频段选择依据。系统自动计算各频段在冶炼前中后三个时期的平均声强，选取一致性最好（波动性最小）的两个特征频段，并与炉口图像所表示的喷溅特征相对比，选择最匹配的一个特征频段作为炉内渣厚状态的声强计算因子。每冶炼2000炉，系统会重新选择声音强度因子解决



由于炉龄和炉衬变化引起的声音频段变化的问题。

通过分析发现在 C 钢厂 6# 转炉上 200Hz 频段的一致性最好，冶炼过程中喷溅和返干均会引起声音强度的明显变化，如图 3 所示。当冶炼平稳，化渣良好时，冶炼的声强曲线比较平稳，没有较大的起伏，如图 3(a) 所示。我们选取在 380s 左右开始发生喷溅的炉次 ID7，对其声强曲线进行分析，如图 3(b) 所示。从图中可以看出在 360s 左右的时候声强曲线开始下降，在 400s 时达到最小值，随后操枪工控制枪位，喷溅得到控制，声强曲线上升，其值稳定在 3.8V 左右。图 3(c) 表示炉次 ID11 在 430s 左右开始发生返干的声强曲线，声强从 300s 左右开始缓慢上升，400s 上升速度加快并在 450s 时达到最大值，随后操枪工控制枪位，返干得到控制，声强曲线下降，其值稳定在 3.7V 左右。

2、氧枪振动分析

通过振动信号分析仪对振动信号进行滤波放大，选取能够表征喷溅和返干的振动频率 f_1 和 f_2 ，分析其振动特征曲线，如图 4 所示。为与声音强度特征相对比，选取的炉次同样为 ID7 和 ID11。从图 4(a) 中可以看出：渣位上升导致氧枪振动减弱，振动曲线幅值在 350s 左右开始有明显的降低。振动特征与声强特征变化趋势一致，但振动特征变化更明显，更利于系统进行判断。当炉内渣位偏向返干导致氧枪振动增强时，振动曲线幅值在 420s 左右开始有明显的降低，如图 4(b) 所示。振动特征与声强特征变化趋势一致，均从 300s 左右开始缓慢上升，但声强特征变化更明显，更利于

系统进行判断。

经过现场测试我们发现：声强特征预报返干比振动特征更迅速，预警时间优势在 15s 以上，利用振动特征预报喷溅比声强特征更迅速，预警时间优势在 10s 以上。因此为提高系统预警时间，我们将声强特征作为返干预报的主影响因子，振动特征作为喷溅预报的主影响因子。

3、火焰图像分析

通过图像采集模块实时采集转炉炉口火焰，提取火焰亮度特征并与正常冶炼时刻火焰亮度特征比较，标记喷溅次数和喷溅等级，如图 5 所示。图 5(a) 为本系统在吹炼平稳时获得的火焰亮度特征信息。从图中可以看出：随着转炉冶炼过程的进行，亮度特征强度逐渐增加，当接近终点时，采集的特征曲线会急剧下降，这与吹炼各个阶段碳氧反应规律是一致的。图 5(b) 所示炉次在 300~400s 之间发生两次喷溅，其亮度特征随之发生突变。因此运用图像分析标记喷溅次数和炉次，不仅可以缩短调试时间，避免人工记录带来的误差，还可以动态校准化渣模型的准确率。

4、使用效果

我们将转炉冶炼时的加料数据、氧枪操作数据、吹氧量数据、铁水成分数据作为参考数据引入渣厚趋势预测模型，结合声强特征、振动特征和图像特征对熔池渣厚趋势进行预报。渣厚趋势预测曲线(蓝色曲线)显示在系统软件主界面上部，红色和黄色线分别表示喷溅预警线和返干预警线，4 路声强特征曲线和枪位曲线显示在其下部，如图 6 中所示。从图中可以看出，渣厚趋势曲线稳定，没有超过喷溅与返干预警线。我们利用在 C 钢厂采集 300 炉的数据，证明本系统的喷溅反应准确率 $\geq 90\%$ ，返干反应准确率 $\geq 95\%$ ，预报时间 10s 以上，可以有效指导化渣操作，实现枪位的平稳控制

四、结论

1、对转炉化渣特征进行分析研究，将转炉冶炼数据和工艺参数引入转炉化渣监控模型，研究多频段音频特征、氧枪振动特征、火焰图像特征与化渣状态的关联性，并通过实验验证了新方法的有效性。

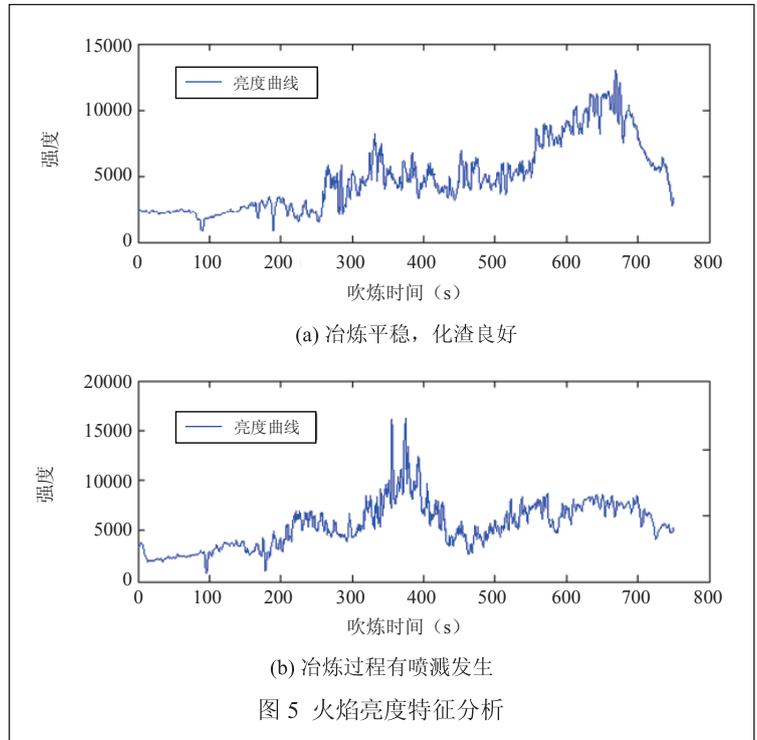


图 5 火焰亮度特征分析

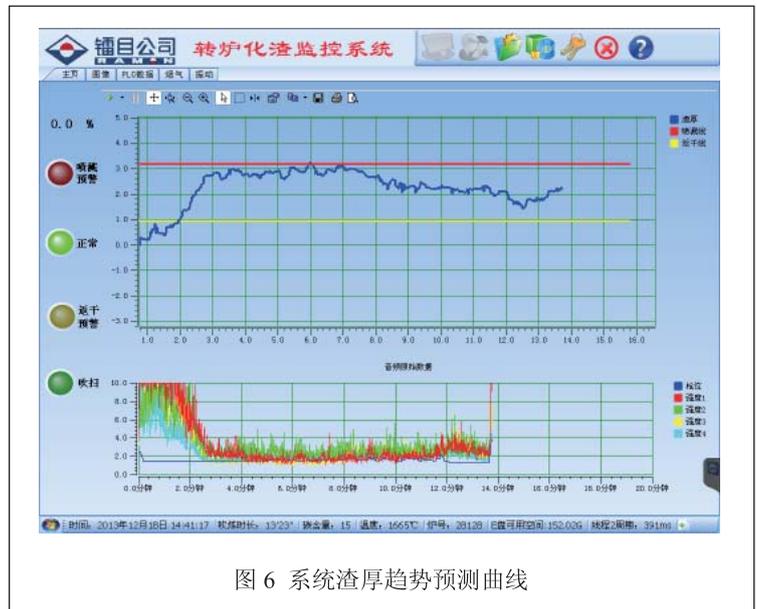


图 6 系统渣厚趋势预测曲线

2、经过长时间现场使用证明系统运行稳定，维护量小，对生产没有干扰，可以作为实现自动化炼钢的关键设备之一。

参考文献

- [1] 王舒黎. 钢铁冶金学 [M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1992.
- [2] 冯捷, 张红文. 转炉炼钢生产 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.

- [3] 陈嘉颖. 转炉造渣过程检测的声学原理及应用 [J]. 钢铁研究学报, 1999,11(3): 57-61.
- [4] 张大勇, 张彩军, 徐志荣. 音频化渣技术在 150t 复吹转炉上的开发与应用 [J]. 中国冶金. 2007(08): 20-22.
- [5] 常金宝, 韩志杰, 魏国增, 杜冬梅. 氧枪振动法化渣检测技术的开发与应用 [J]. 金属世界, 2008,4(6):37-38.

A slagging status monitoring system for top - blow oxygen converters based on multi-sensor fusion technology

HE Tao-tao, TIAN Lu

(Hunan Ramon Tech.Co.LTD, Changsha 410100, China)

Abstract: An on-line real-time system for slagging process monitoring and splashing and drying prediction is designed for basic oxygen furnaces by analyzing the noise signals in smelt process, vibration signals of oxygen lance and flame images. The system includes the sound signal collecting module, the vibration signal collecting module,

the flame image collecting module, data processing module and control soft. The results of experiments show that the system can direct the slagging process, recognize the conditions to avoid slag splashing and drying basically, and stabilize steel-making.

Keywords: converter steelmaking; splash; drying; multi-sensor fusion

作者简介

何涛焘, 湖南镭目科技有限公司, 工程师, 主要研究方向: 传感器及系统的设计及应用

通信地址: 湖南省长沙市星沙经济技术开发区漓湘东路 11 线 邮编: 410100

邮箱: maotao1120@163.com

田陆, 湖南镭目科技有限公司, 博士、总裁, 研究方向: 冶金自动化