

## 转炉煤气流量检测仪表精度提升与智能化技术应用研究

张光勇 丁亚洲 李文浩

日照钢铁控股集团有限公司, 山东 日照 276800

**[摘要]**转炉煤气属于炼钢环节产出的重要副产能源, 具备高可燃性、高热值以及组分复杂的特性, 对其展开精准检测, 对于能源回收、安全管理以及系统优化而言极为关键。随着钢铁工业朝着智能化与绿色化方向发展, 针对流量检测仪表, 其精度以及可靠性方面的需求一天比一天高。不过, 转炉吹炼时工况较为复杂, 气体成分波动也十分频繁, 而且所处环境条件极其恶劣, 这使得传统仪表在精度以及稳定性层面都存在着比较明显的不足之处。此文深入分析了对流量测量产生影响的诸多关键因素, 并且还提出了多维的技术改进策略。通过对动态补偿算法、流场整流设计、高灵敏度传感器以及数据融合等一系列关键技术展开研究, 进而构建起一套系统化的精度提升方案, 以此达成数据的实时采集、自动校准以及远程管理的目的。相关研究表明, 智能化技术能够大幅提升转炉煤气流量测量的准确性以及可靠性, 给冶金企业在数字化能源管理以及安全生产方面给予强有力的支撑。

**[关键词]**转炉煤气; 流量检测; 仪表精度; 智能化技术

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17968

中图分类号: TF345.3

文献标识码: A

## Research on Precision Improvement and Intelligent Technology Application of Converter Gas Flow Detection Instrument

ZHANG Guangyong, DING Yazhou, LI Wenhao

Rizhao Steel Holding Group Co., Ltd., Rizhao, Shandong, 276800, China

**Abstract:** Converter gas is an important by-product energy produced in steelmaking process, which has the characteristics of high flammability, high calorific value and complex components. It is very important for energy recovery, safety management and system optimization to carry out accurate detection. With the development of iron and steel industry in the direction of intelligence and greening, the demand for accuracy and reliability of flow detection instruments is increasing day by day. However, the working conditions of converter blowing are complicated, the gas composition fluctuates frequently, and the environmental conditions are extremely bad, which makes the traditional instruments have obvious shortcomings in accuracy and stability. In this paper, many key factors affecting flow measurement are deeply analyzed, and multi-dimensional technical improvement strategies are also put forward. By studying a series of key technologies such as dynamic compensation algorithm, flow field rectification design, high-sensitivity sensor and data fusion, a systematic precision improvement scheme is constructed, so as to achieve the purpose of real-time data acquisition, automatic calibration and remote management. Relevant research shows that intelligent technology can greatly improve the accuracy and reliability of converter gas flow measurement, and give strong support to metallurgical enterprises in digital energy management and safety production.

**Keywords:** converter gas; flow detection; instrument accuracy; intelligent technology

### 引言

在钢铁行业快速发展的大背景下, 能源管理以及环境保护已然成为企业核心竞争力的重要组成部分。转炉炼钢在吹氧这个阶段, 会生成大量的高温可燃气体, 也就是转炉煤气。这种煤气的主要成分包含一氧化碳、二氧化碳、氮气, 还有少量的氢气, 它的热值颇高, 属于极为重要的

可回收能源范畴。要是能够借助高精度的仪表来对煤气流量展开实时的监测操作, 那么便可以提升能源的利用效率, 同时降低能耗情况的发生, 还能够有效地防范出现泄漏或者爆燃这类事故, 进而切实保障生产的整体安全状态。不过, 转炉煤气流量检测在实际开展过程中, 面临着工况较为复杂、气体成分以及温度会随着时间呈现出剧烈波动的

情况,传统的机械式或者是差压式的仪表很难做到长时间且准确地进行测量工作。近些年来,数字传感技术、信号处理技术、人工智能技术以及物联网技术给流量检测带来了全新的解决办法。本文从精度影响的内在机理着手出发,全面且细致地分析其中的关键技术路径,深入探讨智能化手段在流量检测环节当中的应用所具有的实际价值。

## 1 转炉煤气流量检测技术概述

转炉煤气在炼钢过程中产生,主要在吹氧阶段形成。炼钢原料中的碳元素在高温条件下分解并与氧气反应,产生混合气体混合物。炉内压力升至设定值后,烟道内会析出灰白色烟雾形态的气体流。这种气体主要含高浓度一氧化碳,占比 60%~70%,含有少量二氧化碳、氮气及少量氢气,具有可燃性强、温度高、压力波动大等特征。转炉煤气在不同吹炼阶段,其成分会发生明显变化,所以对其流量展开实时监测,在能源回收以及安全控制方面有着十分重要的意义。精确的流量检测,既是实现煤气回收利用以及供能调度的前提条件,也是保证转炉安全运行、避免煤气泄漏以及爆炸风险的重要环节。传统用于测量流量的手段,像差压式、热式、涡街式还有超声波式等仪表,可在高温、高粉尘且气体成分多变的环境之下,其测量结果常常受到干扰,精度不够,并且存在响应滞后的状况。随着冶金自动化以及智能化程度的持续提升,那种基于传感技术优化、信号补偿算法以及智能分析模型构建起来的流量检测系统,慢慢成为了研究的重点所在,也给提高转炉煤气流量检测精度与稳定性开拓出了新的技术途径。

## 2 转炉煤气流量检测仪表精度影响因素分析

### 2.1 工况波动与气体成分变化影响

转炉煤气于吹炼进程里呈现出颇为显著的工况波动特性,其中的流量、温度以及成分会随着时间持续不断地发生变化。在吹氧刚开始的时候,反应异常激烈,气体流速猛然间出现增长的情况,CO 含量也急剧地上升起来;然而到了终吹阶段,气体成分渐渐变得较为稳定了,不过流量却快速地降了下来。气体密度、黏度还有温度的这种动态变化情况,会对流量换算系数产生直接的影响,要是检测仪表没办法做到实时修正参数,那么就会出现比较大的测量误差。再者说,炉内压力存在周期性的波动,这会引起流场出现扰动的现象,进而使得流速分布变得不均匀,最终导致测量数据的稳定性有所降低。工况波动甚至有可能致使信号输出产生非线性偏差,如此一来,传统的那种基于固定系数的仪表就没办法准确地反映出实际流量了。所以说,在处于高动态工况的情况下,仪表务必要具备实时响应以及自适应补偿的能力,只有这样才能够保证数据

的真实性和连续性。

### 2.2 温度与压力测量误差分析

温度和压力是气体流量计算中极为重要的两个参数,在实际应用当中,转炉煤气的温度一般处于 800~1200°C 这样的范围之内,其压力也会在数千至上万帕的区间内呈现出波动的状态。一旦温度或者压力传感器出现响应滞后的情况,又或者是测量时所产生的误差过大的话,那么就会直接致使气体密度在换算的过程中出现偏差,进而使得最终的流量计算结果产生系统性的误差。在高温的环境下,还极有可能会让传感器的元件发生老化的现象,还可能会出现信号漂移亦或是输出失真的情况,如此一来便会对仪表的长期稳定性造成影响。再者说,温压信号的测量误差往往存在着耦合效应,特别是在瞬时波动的阶段,温度发生变化的时候很可能同时引发压力传感器灵敏度的偏移。要想降低这类误差,检测系统就必须具备高频响应的能力以及动态补偿算法,通过这样的方式才能够达成对温压信号的同步修正以及实时更新的目的,以此来提升整体流量测量工作的准确性。

### 2.3 仪表结构设计与安装条件影响

仪表的构造以及安装条件算得上是决定测量精度的关键因素之一。要是仪表没有和管道中心轴保持对齐的状态,又或者上下游直管段的长度不够充足,那么就会致使流速分布出现畸变的情况,进而破坏掉测量区域所具有的对称性,最终产生出额外的误差。管道内壁要是存在积灰现象,或者是出现了腐蚀情况,亦或是形成了结垢状况,这些都会使得有效流通截面积发生改变,从而引发流量计算方面出现偏差的问题。尤其是在那种温度较高且含有灰尘的环境下,传感探头特别容易被煤灰给覆盖住,如此一来其信号灵敏度便会有所下降。除此之外,仪表的安装角度、所采用的支撑方式以及受到的振动干扰等因素,也都同样会对测量的稳定性产生影响。所以,在设计的阶段当中,就需要借助 CFD 模拟的方式去对探头的位置以及结构形式加以优化处理,以此来保证流场能够具备均匀性以及可重复性的特点,并且要选用那些具有抗震功能、能够防尘并且耐高温的材料,进而强化系统在复杂工况环境之下的可靠性程度。

## 3 仪表精度提升的关键技术研究

### 3.1 流量信号动态补偿与修正算法

动态补偿算法属于核心技术范畴,其主要作用在于应对工况变化所引发的测量误差问题。具体而言,通过针对温度、压力、密度以及流速等诸多参数展开实时采集工作,同时建立起多变量耦合模型,如此便能够达成对流量信号

进行动态修正的目的。此算法会将历史数据和实时输入加以融合分析,进而识别出系统的偏差情况,并且依据实际情况自适应地调整计算系数,以此来维持输出结果具备连续性以及精确性的特点。当处于复杂的工况环境之下时,那种基于神经网络或者模糊逻辑所构建起来的智能补偿算法,往往会呈现出更为出色的自学习以及预测能力,能够有效地对非线性误差予以修正处理。倘若把高频采样以及快速计算平台相互结合起来,那么仪表便可以在毫秒级别的时长内顺利完成补偿响应的相关操作,进而大幅度提升流量检测所具有的实时性以及稳定性程度。

### 3.2 流场优化与整流技术改进

流场结构的优化属于减少测量偏差的关键环节之一。借助 CFD 模拟来对管道内部气体的流动特性展开分析,如此便能够识别出流场当中的旋涡、分层以及湍流区域,进而对节流装置和探头的布置加以优化。引入多孔整流装置以及导流锥结构,能够在很大程度上改善流体分布的均匀性,使得传感器测点更具代表性。在对流场进行优化的时候,还需要充分考虑到积灰、磨蚀以及高温等因素所产生的影响,通过采用耐磨材料以及可拆卸结构设计的方式,方便后续的清理与维护工作。经过相关验证可以发现,改进型的整流装置能够让流速分布误差降低百分之二十以上,从而为高精度测量营造出稳定的流态环境。

### 3.3 高灵敏度与高稳定性传感器研发

传感器性能在很大程度上决定了仪表所能达到的测量极限。那种灵敏度较高的传感器能够很好地捕捉到微小的流量波动情况,而具有高稳定性的结构则能够在长时间的运行过程当中有效地确保信号不会出现漂移的现象。运用 MEMS 技术来制备出来的微型传感器,其自身有着诸如响应速度较快、线性表现较好以及抗干扰能力较强等一系列的优点。新型陶瓷以及碳化硅这类材料在传感器方面的应用,使得传感器的耐高温性能以及抗腐蚀性能都得到了一定程度的提升。为了进一步增强测量精度,在传感器内部可以去集成温度补偿模块以及压力补偿模块,进而达成多参数的同步测量以及自适应校正的目的。除此之外,给传感器表面采用纳米防护涂层技术,如此一来便能够防止灰尘黏附其上以及避免信号出现衰减的情况,从而确保传感器能够实现长期且稳定的输出状态。

### 3.4 多点检测与数据融合技术应用

单点测量在非均匀流场里很难精准地反映出整体的流量特性,多点检测技术会布置多个传感器阵列来获取不同位置处的流速信息,接着借助数据融合算法对这些信息加以处理,从而重构出整体流场的分布情况,卡尔曼滤波、

主成分分析以及深度学习等方法能够针对多源数据展开融合计算,以此消除局部扰动以及随机噪声,进而提升整体测量所具有的准确性以及鲁棒性,多点检测还能为系统的健康诊断打下基础,通过对数据的一致性进行分析来识别出异常探头,并且能够自动剔除错误数据,达成检测系统的自适应优化效果。

## 4 智能化技术在流量检测系统中的应用

### 4.1 基于物联网的在线监测体系

物联网技术的应用给流量检测系统赋予了实时监测以及远程管理的能力。具体而言,在各个检测节点安排智能传感器,并且搭建起无线通信网络,如此一来便能够达成对流量、温度、压力等各项数据的高频度采集以及实时传输的目的。中央控制平台针对这些数据展开可视化呈现以及趋势方面的分析,进而实现对生产状态的动态且细致的监控<sup>[1]</sup>。要是系统察觉到有异常变化出现,那么它会自动启动预警机制并将预警信息推送到移动终端上,以此确保操作人员可以及时做出相应的反应。物联网体系的构建成功让转炉煤气监测从“点式测量”的模式转变成了“网络化管理”的模式,这无疑大大提高了系统的可控程度以及安全水准。

### 4.2 人工智能算法与自适应校准系统

人工智能技术给流量检测系统的自学习以及自校准打下了理论根基。借助基于神经网络构建的模型,能够对煤气流量和工况参数之间存在的非线性关系加以拟合,进而预测出可能出现的偏差走向<sup>[2]</sup>。自适应校准系统会运用 AI 算法来对比实时测量所得到的数值与预测模型所输出的数据,依据对比情况动态地去调整仪表的各项参数,达成自动补偿以及误差修正的目的。该系统还能够不断地对算法结构予以优化,确保仪表在不同的工况情形下都能够维持在最优的测量状态。与此凭借异常检测以及趋势分析方面的功能, AI 系统还能够提前对潜在的故障加以识别,从而降低人工巡检的频次,进一步提升系统的自主运行方面的能力。

### 4.3 云平台数据共享与远程运维管理

云计算技术得以应用之后,便让流量检测数据的集中化管理以及智能化分析有了实现的可能性。那些各个现场仪表所采集到的数据,在经过安全加密处理之后,会被上传至云端。如此一来,便能够达成跨区域以及跨系统的数据共享,并且还能开展对比分析方面的相关工作<sup>[3]</sup>。云平台具备这样的能力,即能够针对煤气利用效率、设备健康状况以及能耗指标等各个方面展开综合性的评估,进而为企业给出科学合理的决策依据。其远程运维功能是存在的,

这就使得工程人员可以在不同的地点去完成对仪表参数的调整操作以及对仪表状态的监测事宜,由此也大幅度地降低了维护方面所需要的成本。借助云端的大数据分析手段,还能够构建起关于煤气流量的预测模型,这个模型可以为生产调度以及能源管理等相关事宜提供一定的参考,进而实现一个智能化的决策支持体系。

## 5 结语

转炉煤气流量检测精度的提高以及智能化的应用在钢铁工业实现高质量发展的过程中起着十分重要的作用。本文全面且细致地分析了工况出现波动、存在温压误差、结构设计方面的问题、信号传输状况以及校准维护情况等一系列影响因素,从中揭示出检测精度受到多种维度耦合因素限制的内在机理,同时还给出了一条综合提升的路径,那就是借助动态补偿、对流场加以优化、升级传感器以及多点融合等方式来提升检测精度。随着物联网、人工智能还有云计算这些技术不断得到深入的应用,流量检测系统

正在一步步地从传统的监测模式朝着智能感知以及自主决策的方向发生转变。在未来,需要进一步强化对模型自学习能力、系统自诊断功能以及多源数据融合方面的研究工作,去构建一个具有自适应特性、能够做出预测并且可以进行优化的智能化煤气检测体系,从而为冶金行业在安全生产以及能源高效利用等方面给予稳固可靠的技术保障。

## [参考文献]

- [1] 费佳杰.钢铁企业转炉煤气产耗及柜位预测方法研究[D].江苏:江南大学,2024.
- [2] 文蒙生,赵建军,刘雪峰,等.混合煤气流量的多种测量方法在包钢生产中的应用[J].包钢科技,2022,48(1):85-88.
- [3] 韩旭.基于深度学习的转炉煤气产消流量预测与应用[D].辽宁:大连理工大学,2022.

作者简介: 张光勇 (1987.12—), 毕业院校: 中国地质大学, 专业: 机械设计制造及其自动化, 目前就职单位: 日照钢铁控股集团有限公司, 职务: 电气技工。