

# 高炉煤气流量测量仪表的误差分析与校正方法研究

李文浩 张光勇 丁亚洲

日照钢铁控股集团有限公司, 山东 日照 276800

[摘要] 近些年来, 伴随着钢铁行业的不断发展, 对于高炉煤气流量测量的精度以及可靠性方面所受到的关注程度日益增加。就当下情况来看, 差压式流量计、孔板流量计还有质量流量计这类仪表, 依旧占据着主要的测量手段的地位。然而在那种高温、存在高腐蚀情况以及出现压力波动等等工况环境之下, 其测量所存在的误差是比较显著的。并且现有的校正工作大多是以周期性的离线操作形式来进行的, 如此一来便很难做到及时地去反映出生产方面的变化状况, 进而使得所获取的数据在稳定性与准确性这两方面都显得有所欠缺。所以说, 针对高炉煤气流量测量技术而言, 还是需要在误差分析以及校正方法这两个层面去做出相应的改进举措, 以此来促使测量精度以及可靠性得以提升。

[关键词] 高炉煤气流量; 测量仪表; 误差分析; 校正方法

DOI: 10.33142/ec.v8i9.18010

中图分类号: TF05

文献标识码: A

## Research on Error Analysis and Calibration Method of Blast Furnace Gas Flow Measurement Instrument

LI Wenhao, ZHANG Guangyong, DING Yazhou

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

**Abstract:** In recent years, with the continuous development of the steel industry, the accuracy and reliability of blast furnace gas flow measurement have received increasing attention. From the current situation, instruments such as differential pressure flow meters, orifice flow meters, and mass flow meters still occupy the main position of measurement methods. However, under working conditions such as high temperature, high corrosion, and pressure fluctuations, the measurement errors are quite significant. Moreover, most of the existing calibration work is carried out in the form of periodic offline operations, which makes it difficult to reflect changes in production in a timely manner, resulting in a lack of stability and accuracy in the obtained data. So, for the measurement technology of blast furnace gas flow, it is still necessary to make corresponding improvement measures in error analysis and correction methods to promote the improvement of measurement accuracy and reliability.

**Keywords:** blast furnace gas flow rate; measuring instruments; error analysis; correction method

### 引言

高炉煤气是高炉炼铁时产生的关键副产品, 其流量测量在冶金生产里有着非同小可的意义。精准的流量测量和高炉工艺参数的优化控制息息相关, 同时也对燃烧效率、能源利用率以及生产安全产生直接的影响。随着高炉产量的不断增加以及自动化控制水平的逐步提高, 以往那种单纯依靠经验以及简单仪表来进行流量测量的方法, 已经没办法满足现代高炉对于测量精度以及数据可靠性方面的要求了。在高炉煤气流量测量的过程当中, 仪表自身的一些因素、外界工况出现的变化以及流体特性呈现出的复杂性等情况, 都有可能致使测量出现误差。要是这些误差没有得到有效的分析以及校正处理, 那么就会对生产调控以及工艺优化产生直接的影响。常用的高炉煤气流量测量仪表有差压式流量计、质量流量计、孔板流量计以及超声波流量计等等, 不同类型的仪表, 其测量原理以及应用条件都不一样, 它们的误差特性也存在着十分明显的差异。所以说, 针对高炉煤气流量测量仪表的误差展开系统的分析, 并且去研究科学合理的校正方法, 这已然成为了确保测量

精度、实现生产控制的优化以及提升能源利用效率的一个极为重要的环节。本文会围绕着高炉煤气流量测量仪表的误差来源、影响因素以及校正方法来开展相关的研究工作, 把理论分析和实际工况结合起来, 深入探讨误差优化以及改进的策略, 从而为高炉煤气测量朝着更加精确化、稳定化的方向发展给予技术层面的支持以及理论方面的依据。

### 1 高炉煤气的特性与流量测量的重要性

高炉煤气流量的精准测量对于生产效率、能源管理和安全生产具有重要意义。通过实时监测流量, 可及时调整燃烧参数, 保持炼铁炉内化学反应的稳定性, 从而提高生铁产量和质量, 同时避免因测量不准确导致的煤气浪费和生产成本增加。在能源管理方面, 流量数据可用于优化煤气分配策略, 防止过度供气或供气不足, 降低能源损耗, 例如某钢铁厂因流量计误差每月多浪费 20 万  $m^3$  煤气, 造成约 16 万元损失<sup>[1]</sup>。此外, 由于煤气中含有二氧化硫等有毒气体, 流量异常波动可能引发泄漏或爆炸, 精确测量为安全预警系统提供可靠依据, 及时发现和处理潜在安全隐患, 保障高炉生产的安全稳定运行。

## 2 高炉煤气流量测量仪表的误差分析

### 2.1 仪表类型及其误差来源

高炉煤气流量测量仪表产生的误差，主要是因为不同类型的仪表有着不一样的工作原理。常常用到的仪表种类有差压式流量计、孔板流量计、皮托管还有质量流量计等等，每一种仪表在开展测量工作的过程中，都有可能出现特定的系统误差以及随机误差。就好比差压式流量计，它是依靠压差来测量流量的，所以它的精度就很容易受到流体压力出现变化、密度发生改变以及安装位置不够恰当等诸多因素的影响；而孔板流量计的误差，大多是从孔板加工的精度方面、流速分布得不均匀之处以及管道直管段长度不够充足等方面产生的；质量流量计在测量那种温度特别高或者具有很强腐蚀性的气体的时候，其传感器所具备的特性、响应的灵敏程度以及由于长时间使用而出现的漂移等情况，同样会致使测量出现偏差。除此之外，仪表自身存在的制造误差、装配时候的精度问题、出现的磨损情况以及老化的状况等因素，在实际进行测量操作的时候，也都会引入相应的误差。

### 2.2 外界因素对流量测量误差的影响

在高炉煤气流量展开测量工作的过程当中，外界诸多因素对于测量误差有着不容忽视的影响，这些影响往往体现为温度、压力、流体特性以及管道条件等多个不同方面的因素共同作用所形成的结果。就温度而言，其发生的变化会致使煤气的密度以及粘度都随之产生变化，进而对流体在管道内部的流速分布状况以及压力差情况造成影响，使得差压式流量计或者孔板流量计的测量精度受到一定程度的影响；与此压力出现波动的情况或者管道内部瞬时压力发生变化的情形同样也会引发测量信号出现偏移的状况，最终导致流量数据出现误差。煤气成分发生的变化以及其中存在着的杂质，像灰尘、焦油颗粒或者是水分这类物质，会使得流体的物理性质发生改变，进而让仪表的响应出现偏差的情况，在那种高温、高腐蚀性或者工况不稳定的环境下，这种影响更是显得格外突出。除此之外，管道布置得不够合理、存在弯头、阀门以及出现局部收缩或者扩张等结构方面的因素，会致使局部出现湍流、旋涡或者处于非理想流动的状态，如此一来便引起了测量信号出现波动以及随机误差的情况。

### 2.3 仪表自身因素引起的误差

在开展高炉煤气流量测量相关工作的时候，仪表自身的一些因素往往成为引发测量出现误差的关键源头所在。这些因素具体来讲，涵盖了制造精度方面的情况、安装方面的实际状况、因长期使用而产生的磨损情况，还有电子元件性能方面所产生的影响等等诸多方面。就制造精度而言，在仪表的生产制造进程当中，所存在的加工环节出现的误差情况、零件在装配时出现的偏差状况，以及标定精度所受到的限制等因素，会直接致使初始阶段所获取到的测量数据和实际的真实流量之间存在着一定的偏差。从安装的角度来看，仪表所采用的安装方式以及具体的安

装位置，对于测量所能达到的精度同样有着颇为显著的影响。比如说，要是安装时未能保持垂直状态，或者管道的支撑不够稳固，又或者是存在偏心等情况，那么这将会使得流体的流态发生改变，进而促使流量计出现具有系统性的误差<sup>[2]</sup>。除此之外，随着仪表使用时间的不断推移，其内部的机械结构很可能会出现磨损的现象，同时传感器的性能也会有所下降，又或者是电子元件出现漂移的情况，这些都是会导致测量信号出现偏移的，从而使得随机误差发生的可能性不断增加。而且，仪表自身所存在的这些因素还很有可能会和环境条件相互之间产生作用，就好比振动、温度发生的变化以及电磁干扰等情况，它们会进一步将测量误差给放大开来。

## 3 高炉煤气流量测量误差的校正方法

### 3.1 仪表校验与标定原理

高炉煤气流量测量仪表的校验以及标定工作，属于保证测量精度以及可靠性的关键环节。其核心原理是借助标准流量或者在已知条件之下的参考值，针对仪表所输出的信号展开比对操作并加以调整，进而确定该仪表的测量误差，并且对其进行相应的修正处理。校验的过程一般涵盖静态校验以及动态校验这两种不同的方式。其中静态校验主要是凭借实验室环境下所设定的标准流量或者是标准气体，来对仪表实施精准的测量，以此来评定其线性误差、零点偏差还有灵敏度偏差等方面的情况。而动态校验则是处在模拟实际生产工况或者现场条件的状态下开展的，重点考察仪表在不同流速、压力以及温度等各类条件之下的响应特性以及输出稳定性的情况。在标定的过程当中，通过对仪表的校正系数、零点亦或是增益做出调整，促使它的测量输出能够和标准参考值达成匹配的状态，进而实现测量结果的准确性。

### 3.2 差压式流量计校正方法

差压式流量计在高炉煤气流量测量方面的应用较为常见，其校正办法主要是把仪表输出和标准参考流量二者之间的差异拿来比较，以此确定其误差规律并加以修正，从而确保测量能够准确无误。差压式流量计的测量原理是依据流体在管道里经过收缩装置（像孔板或者文丘里管这类）所产生的压差和流量之间的关联来确定的，所以其误差既有可能源自仪表自身，同时也受到流体密度、粘度以及流态分布等诸多因素的作用。在开展校正工作的过程当中，一般要先建立起标准流量条件，这能够借助高精度的标准流量装置或者参考管段达成，并且得保证实验环境当中的温度、压力还有流体成分都和实际工况较为接近<sup>[3]</sup>。在静态校正环节，通过施加已知的流量，让仪表输出处于稳定状态之后再记录下读数，对零点偏移、满量程误差以及非线性特性展开分析；而在动态校正环节，则需要在不同的流速以及压力条件下进行测量，对仪表响应的线性度、滞后性还有瞬态误差做出评估。在进行校正的过程当中，还需要考虑到差压传感器的灵敏度漂移以及安装误差给测

量结果所带来的影响，通过调整校正系数或者是修改计算公式的方式，促使仪表输出值和标准流量能够高度吻合。

### 3.3 质量流量计及其他仪表的校正方法

质量流量计以及其他各类仪表在高炉煤气流量测量方面有着极为重要的应用，而其校正方法同样属于保证测量精度的关键环节。质量流量计主要是依靠直接测量流体的质量流量这一方式来获取相关数据，其误差产生的源头涵盖了传感器灵敏度、温度以及压力补偿精度还有仪表电子信号处理等诸多方面。在开展校正工作的过程当中，往往需要去建立起精确的标准质量流量条件，而这便能够借助高精度的校准装置或者已知质量流量的参考系统来达成。在静态校准的操作流程里，会施加标准流量，等到仪表输出趋于稳定之后再记录下相应的读数，进而对零点漂移、量程误差以及非线性特性展开分析；而在动态校准环节，则是在不同的流速、温度以及压力条件之下依次进行测量操作，以此来评估仪表的响应速度、线性度以及瞬态误差特性。对于像涡街流量计、电磁流量计或者超声波流量计这类其他类型的流量仪表而言，它们的校正方法同样是遵循着类似的原理，也就是通过标准流量或者已知的参考条件来进行比对，仔细分析误差分布情况以及仪表的各项特性，并且通过调整校正系数、修正信号处理算法又或者是更新补偿参数等一系列举措，最终实现测量输出与标准值达到一致性的情况。

### 3.4 在线校正与动态补偿技术

在高炉煤气流量测量工作当中，在线校正以及动态补偿技术算得上是提高测量精度并且增强其实时性的重要举措。和传统的离线校正不一样，在线校正可于仪表处于正常运转的工况之下，针对测量数据展开实时的比对操作并加以修正，如此一来便能够降低由于工况出现波动、环境产生变化又或者是仪表发生漂移等情况所引发的误差。动态补偿技术主要是借助对流体的温度、压力、成分还有流态等一系列变量实施实时的监测手段，再运用数学模型或者智能算法来对流量测量信号做出修正处理，进而达成对瞬态变化以及非理想流动状态予以补偿的目的。就好比在差压式流量计里，所实时采集到的温度和压力数据能够用来修正流体密度发生变化给测量结果所带来的影响；而在质量流量计以及超声波流量计当中，凭借动态补偿算法是可以修正传感器出现漂移、流速剖面不够均匀以及管道产生振动等原因引起的误差的。在线校正与动态补偿一方面能够确保仪表在复杂的生产环境之中维持一定的测量精度，另一方面还能够实现较长时间的连续监测，如此一来就能削减停机检修给生产所造成的影响，并且还能为高炉工艺控制以及安全运行给予较为可靠且及时的数据支撑。

## 4 流量测量误差优化与改进策略

在高炉煤气流量测量方面，对误差加以优化以及对测量策略予以改进，这对于提升测量精度、确保生产安全以及提高工艺控制水平而言，有着十分重要的意义。要从流

量测量系统的设计环节着手去开展工作，合理地去挑选仪表类型、确定安装位置以及规划管道布置，以此来尽力削减因局部出现湍流、流速存在不均情况以及管道结构不够合理而引发的各类误差；得针对流体的温度、压力还有成分方面的变化展开有效的监控举措，并且要结合仪表的具体特性来对相关数据做出修正处理，进而降低外界诸多因素给测量精度所带来的影响<sup>[4]</sup>。在对仪表进行使用的过程当中，应当建立起一套科学合理的维护以及校验方面的制度安排，定期去实施校准操作以及开展性能检查工作，借此方式来减少因长期使用而产生的漂移误差以及老化误差；与此还要强化对操作人员的培训力度，促使他们能够更为透彻地理解仪表原理、掌握安装要求并且知晓测量时需要注意的各项事项，如此便能有效地将人为操作误差降下来。除此之外，随着智能化以及信息化技术不断向前发展，可以考虑引入数据采集与分析系统，借助实时监测、动态补偿以及对异常数据展开分析等方式，来对流量测量数据进行优化方面的处理，进而达成对高炉煤气流量实现精确测量以及长期稳定控制的目标。

## 5 结语

经对高炉煤气流量测量仪表的误差展开分析并研究其校正方法后可发现，仪表自身方面的情况、外界工况所发生的种种变化以及流体呈现出的各类特性等因素，都会对测量精度起到颇为重要的影响作用。就差压式流量计、质量流量计以及其他不同类型仪表而言，在实际使用进程中均存在着程度不一的系统误差以及随机误差。不过，借助科学且合理的校正办法，再加上在线校正手段以及动态补偿相关技术，是能够切实有效地提升测量工作的准确性以及实时性的。凭借较为合理的误差分析方式以及相应的优化策略，一方面可以促使高炉煤气流量测量的可靠性与稳定性得以提高，另一方面也为高炉生产工艺方面的控制工作、能源管理事宜以及安全运行情况给予了可靠的数据支撑。在未来，伴随智能化技术以及信息化技术不断向前发展，高炉煤气流量测量有希望达成更高精度以及更高效率的在线监测状态，进而为钢铁工业的精细化管理工作筑牢坚实的技术保障基础。

## 【参考文献】

- [1]简捷.高炉煤气环缝洗涤器结构参数的优化研究[D].河北:燕山大学,2024.
- [2]朱勇.钢铁企业高炉煤气产耗及柜位预测方法研究[D].江苏:江南大学,2023.
- [3]宋皎.威力巴流量计在高炉煤气流量测量上的运用研究[J].冶金与材料,2020,40(5):18-19.
- [4]刘晓兵.莱钢炼铁厂新型煤气计量仪表的应用[J].山东冶金,2017,39(6):69-70.

作者简介：李文浩（1988.10—），毕业院校：武汉纺织大学，专业：电子信息工程，单位：日照钢铁控股集团有限公司，职务：仪表工程师，职称级别：中级。