

冶金电弧炉炉气分析系统校准规范

编制说明

江苏省计量科学研究院

2026 年 10 月

一、任务背景及来源

电弧炉（EAF）短流程炼钢工艺可用回收废钢、直接还原铁作为主要原料，通过“以电代煤”的形式实现流程集约优化和低碳排放，是传统钢铁企业向“新质生产力”迈进、探索“绿色转型”的一次成功尝试。

冶金电弧炉炉气分析系统能够准确的测量炉气中 CO、CO₂、O₂ 等成分，它是一种重要的温室气体排放监测设备；并可以利用炉气测量结果对冶炼过程进行分析、控制和优化，有效的减少温室气体排放，是“电弧炉智能炼钢技术”的重要组成部分。冶金电弧炉炉气分析系统作为冶金行业重要的在线、动态、远程测量设备，目前国内尚未出台相关的计量校准规范，缺乏可靠的、有效的、法制的计量校准溯源途径。为其制定计量校准规范，可以填补国内在该方面的空白，保障电弧炉炉气分析系统的量值准确，推动电弧炉（EAF）短流程炼钢工艺的快速发展和质量提升。

冶金电弧炉炉气分析系统校准规范起草任务由国家市场监督管理总局 2025 年下达（市监计量发[2025]45 号文），归口单位为全国碳达峰碳中和计量技术委员会钢铁计量分技术委员会(MTC26/SC3)。起草单位为江苏省计量科学研究院、钢研纳克检测技术股份有限公司等。

二、依据和主要参考资料

本校准规范制定依据和主要的参考资料有：

- （1）JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》
- （2）JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》
- （3）JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》
- （4）JJG 635—2011《一氧化碳、二氧化碳红外气体分析器检定规程》
- （5）JJG 662—2005《顺磁式氧分析器检定规程》
- （6）GB/T 34042-2017《在线分析仪器系统通用规范》

三、仪器与计量标准调研

目前冶金电弧炉炉气分析系统的主要生产厂家有：江苏舒茨测控设备股份有限公司、西安聚能仪器有限公司、南京霍普斯科技有限公司、西门子奥钢联公司、意大利 TENOVA 公司等。主要使用单位包括宝山钢铁股份有限公司、靖江特殊钢有限公司、徐州金虹钢铁集团有限公司等。

冶金电弧炉炉气分析系统主要用途是对炉气的成分含量进行定量分析，因此主要

采用气体有证标准物质作为计量器具，包括氮中一氧化碳、氮中二氧化碳、氮中氧气体标准物质等。目前国内有相应的气体有证标准物质，可以作为本校准规范的主要计量标准，如表 1 所示。其他配套计量标准则是电子秒表、流量计等常规设备，只要经过检定合格或者校准符合要求即可直接使用。

表 1 国内相关有证气体标准物质

标准物质名称	标准物质编号	特性量值 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	相对扩展不确定度	生产厂
氮中一氧化碳气体标准物质	GBW(E) 082068	5~200000	$U_{\text{rel}}=1\%$, $k=2$	四川中测标物科技有限公司
氮中二氧化碳气体标准物质	GBW(E) 082069	5~200000	$U_{\text{rel}}=1\%$, $k=2$	四川中测标物科技有限公司
氮中氧气体标准物质	GBW(E) 061321	10.0~990000	$U_{\text{rel}}=1\%$, $k=3$	四川中测标物科技有限公司
氮中一氧化碳气体标准物质	GBW(E) 080052	5~500000	$U_{\text{rel}}=1\%$, $k=2$	北京氮普北分气体工业有限公司
氮中二氧化碳气体标准物质	GBW(E) 080051	5~500000	$U_{\text{rel}}=1\%$, $k=2$	北京氮普北分气体工业有限公司
氮中氧气体标准物质	GBW(E) 080054	10.0~500000	$U_{\text{rel}}=1.5\%$, $k=2$	北京氮普北分气体工业有限公司
氮中一氧化碳气体标准物质	GBW(E) 083615	10.0~300000	$U_{\text{rel}}=1.0\%$, $k=2$	杭州新世纪混合气体有限公司
氮中二氧化碳气体标准物质	GBW(E) 083611	20000~300000	$U_{\text{rel}}=1.0\%$, $k=2$	杭州新世纪混合气体有限公司
氮气中氧气体标准物质	GBW(E) 062553	5000~990000	$U_{\text{rel}}=1.0\%$, $k=3$	杭州新世纪混合气体有限公司
氮中一氧化碳气体标准物质	GBW(E) 060124	10000~100000	$U_{\text{rel}}=1.0\%$, $k=2$	中国计量科学研究院
氮中二氧化碳气体标准物质	GBW(E) 060126	10000~100000	$U_{\text{rel}}=1.0\%$, $k=2$	中国计量科学研究院
氮气中氧气体标准物质	GBW(E) GBW 08135	1000~70000	$U_{\text{rel}}=0.5\%$, $k=2$	中国计量科学研究院

四、主要技术内容的说明

校准规范制定组通过查阅相关技术文献和标准等资料、对冶金电弧炉炉气分析系统生产厂家及使用单位进行调研，经充分讨论后制定了本校准规范。技术规范主要内容包括范围、引用文件、概述、计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果、复校时间间隔、附录共九部分。具体内容如下：

1、范围

“本规范适用于冶金电弧炉炉气分析系统的校准。”，这句话限定了规范的适用范围。

2、引用文件

冶金电弧炉炉气分析系统为在线气体分析仪器系统，为配合相关国家规范、标准的实施和对数据质量控制要求，本规范主要引用了 JJG 635—2011《一氧化碳、二氧化碳红外气体分析器检定规程》、JJG 662—2005《顺磁式氧分析器检定规程》、GB/T 34042-2017《在线分析仪器系统通用规范》相关技术内容。

3、概述

在概述部分主要对冶金电弧炉炉气分析系统的用途、原理和仪器结构进行了简单介绍，参考相关技术资料编写。

4、计量特性

计量特性中校准项目包括示值误差、重复性、系统响应时间、零点漂移、量程漂移，校准项目的确定主要参考了 JJG 635—2011《一氧化碳、二氧化碳红外气体分析器检定规程》、JJG 662—2005《顺磁式氧分析器检定规程》、GB/T 34042-2017《在线分析仪器系统通用规范》的相关内容；各校准项目的技术指标主要根据测试结果进行确定，示值误差校准项目的技术指标结合其测量结果的不确定度进行确定，具体计量特性指标见表 2。

表 2 冶金电弧炉炉气分析系统计量特性

计量特性	技术指标
示值误差	$\pm 3.0\%FS$
重复性	$\leq 1.5\%$

系统响应时间	$\leq 120s$
零点漂移	$\pm 2.0\%FS$
量程漂移	$\pm 2.0\%FS$
注：以上技术指标仅供参考，不作为合格性判定依据。	

5、校准条件

本部分规定了冶金电弧炉炉气分析系统校准时需要满足的、对校准结果有影响的环境条件、校准设备和校准用标准物质。由于冶金电弧炉炉气分析系统属于在线气体分析器，环境温度、湿度、大气压力等因素会对测试结果造成影响，参考 GB/T 34042-2017《在线分析仪器系统通用规范》的相关内容，规范编制组对其分别进行了限定。

冶金电弧炉炉气分析系统主要用途是对炉气的成分含量进行定量分析，因此主要采用气体有证标准物质作为计量器具，包括氮中一氧化碳、氮中二氧化碳、氮中氧气标准物质。参考国内相应气体有证标准物质的测量范围和不确定度水平（如表 1 所示），以及相关的校准规范，对所用标准物质的不确定度进行了限定。氮中一氧化碳气体标准物质,相对扩展不确定度不大于 2.0%（ $k=2$ ），当采用气体稀释装置时，稀释后标准气体的相对扩展不确定度应满足上述要求；氮中二氧化碳气体标准物质,相对扩展不确定度不大于 2.0%（ $k=2$ ），当采用气体稀释装置时，稀释后标准气体的相对扩展不确定度应满足上述要求；氮中氧气气体标准物质，相对扩展不确定度不大于 1.5%（ $k=2$ ），当采用气体稀释装置时，稀释后标准气体的相对扩展不确定度应满足上述要求。

涉及的校准设备主要包括：电子秒表、流量计、减压阀和气路等，电子秒表和流量计，需经过检定合格或者校准后使用。

6、校准项目和校准方法

由于冶金电弧炉炉气分析系统属于在线气体分析器，因此在进行示值误差、重复性、系统响应时间、零点漂移和量程漂移等校准项目时，零点气体和气体标准物质需与样品气体通过的路径一致，即零点气体和气体标准物质均应输送至采样探头，再由样气传输管线经过样品处理后进入测量系统进行分析。

6.1 示值误差

该项校准项目为主要校准项目。为了能够更好的、完整的评价不同厂家、型号的冶金电弧炉炉气分析系统的示值准确性，同时考虑到用户实际的使用需求，我们选择浓度约为满量程 20%、50%、80%的气体标准物质为示值误差的测量点，以保证示值误差测量点能够均匀覆盖整个仪器量程范围。

仪器运行稳定后，按照仪器设定采样流量从采样探头通入零点气体，待读数稳定后，调整仪器的零点。以相同流量通入浓度约为满量程20%的气体标准物质，待示值稳定后，记录仪器示值，然后通入零点气体，使之回零后，再通入上述浓度的气体标准物质，重复测量 3 次。按相同步骤测量浓度约为满量程 50%、80%的气体标准物质，按公式分别计算出不同浓度值的示值误差。

6.2 重复性

仪器运行稳定后，首先通入浓度约为满量程 50%的标准气体，记录仪器稳定示值，然后通入零点气体，使之回零后，再通入上述浓度的气体标准气体。重复测量 6 次，按公式计算单次测量的相对标准偏差作为仪器的重复性。

6.3 系统响应时间

样气经取样探头取样，再由样气传输管线进入测量系统进行分析，考虑到传输时间过长会影响在线数据的准确和稳定性，因此，将系统响应时间（样气管线传输时间+分析仪表响应时间）作为校准项目中必不可少的一项。

待仪器稳定后，通入浓度约为满量程 80%的标准气体，记录仪器稳定值。然后通入零点气体，让仪器示值回到零点，再通入上述标准气体，同时启动秒表，待仪器示值达到上述稳定值的 90%时，停止秒表，记下秒表显示的时间。重复上述步骤 3 次，取算术平均值作为仪器的系统响应时间。

6.4 漂移

仪器的漂移包括零点漂移和量程漂移。仪器零点稳定后，通入零点气体，记录仪器稳定示值，然后通入浓度为满量程 80%的标准气体，记录仪器稳定示值。让仪器连续运行 4h，每间隔 1h 重复上述步骤一次，同时记录仪器零点稳定示值和量程稳定示值。取各次中绝对值最大的 Δ_{zi} 、 Δ_{si} 作为仪器的零点漂移和量程漂移结果。

7、校准结果

对冶金电弧炉炉气分析系统校准结果的内容、校准证书的要求等进行了具体的描述和规定，参照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》相关章节编写。

8、复校时间间隔

仪器复校时间间隔建议不超过 12 个月。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

9、附录

参照 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》给出了冶金电弧炉炉气分析系统校准原始记录格式和校准证书内页格式。依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定和表示》给出了冶金电弧炉炉气分析系统值误差的不确定度评定示例。

五、总结

在本规范的制定过程中，起草小组以大量技术资料及相关标准、实验数据为技术依据，本着科学合理、易于操作和普遍适用的原则，完成了冶金电弧炉炉气分析系统校准规范的制定。经过试验证明，本规范校准项目和校准方法适用冶金电弧炉炉气分析系统的校准，可操作性强，建议的技术指标符合仪器技术要求以及用户需求。