

管式炉-红外吸收法测定锌冶炼回转窑 水淬渣中的碳含量

冯虎林^{1,2}, 刘千祥², 温箐秀²

(1. 福建紫金矿冶测试技术有限公司, 福建 龙岩 364200; 2. 新疆紫金有色金属有限公司, 新疆 克州 845450)

摘要: 锌冶炼回转窑水淬渣中的碳主要来源于混料时加入的焦炭, 其碳含量指标可直接反映窑况, 对生产具有重要指导意义. 传统测定方法以非水滴定法为主, 试验则采用管式炉-红外吸收法, 以钨+铜为助熔剂, 在通氧高温条件下促进水淬渣中的碳快速分解并转化为二氧化碳, 再通过红外吸收池检测碳含量. 经试验优化, 称取样品 0.200 0 g 及助熔剂置于预处理好的瓷舟中, 将炉温设定为 1 250 °C, 以碳酸钙为基准绘制校准曲线, 建立管式炉-红外吸收法测定锌冶炼回转窑水淬渣中碳含量的检测方法. 测定结果表明, 校准曲线的相关系数为 0.999 7, 方法检出限为 0.011%, 测定范围为 0.037%~15.00%. 同时, 在样品中加入碳酸钙进行加标回收试验, 结果显示, 回收率在 99.40%~101.73% 之间. 所建立的方法可解决水淬渣中碳测定耗时久、操作复杂等问题, 适用于碳含量的快速检测.

关键词: 管式炉; 红外吸收法; 水淬渣; 碳含量

中图分类号: O657.33

文献标志码: B

文章编号: 1006-3757(2025)04-0250-07

DOI: 10.16495/j.1006-3757.2025.04.006

CSTR: 32263.14.j.1006-3757.2025.04.006

Determination of Carbon Content in Water-Quenched Slag from Zinc Smelting Rotary Kiln by Tube Furnace-Infrared Absorption Method

FENG Hulin^{1,2}, LIU Qianxiang², WEN Qingxiu²

(1. Fujian Zijin Mining and Metallurgy Testing Technology Co. Ltd., Longyan 364200, Fujian China;

2. Xinjiang Zijin Nonferrous Metals Co. Ltd., Kezhou 845450, Xinjiang China)

Abstract: The carbon in the water-quenched slag from the zinc smelting rotary kiln is mainly derived from the coke added during mixing. Its carbon content can directly reflect the kiln condition and is of great guiding significance for production. The traditional determination method is mainly non-aqueous titration. In the experiment, the tube furnace-infrared absorption method was adopted. By using tungsten + copper flux, the carbon in the water-quenched slag was rapidly decomposed and converted into carbon dioxide under the high-temperature oxygen-filled conditions. Finally, the carbon content was detected by infrared absorption cell. After optimization, 0.200 0 g of sample and flux were weighed and placed in a pre-treated porcelain boat, the furnace temperature was set to 1 250 °C, and a calibration curve was plotted using calcium carbonate as the reference. Thus, a detection method for determining the carbon content in the water-quenched slag from the zinc smelting rotary kiln by tube furnace-infrared absorption method was established. The results showed that the correlation coefficient of the calibration curve was 0.999 7, the detection limit of the method was 0.011%, and the measurement range was 0.037%~15.00%. Meanwhile, a spiked recovery test was conducted by adding calcium carbonate to the samples, and the results showed that the recoveries ranged from 99.40% to 101.73%. The method can solve the problems of long time consumption and complex operation in the determination of carbon in water-quenched slag, and is suitable for the detection of carbon content.

收稿日期: 2025-04-11; 修订日期: 2025-07-01

作者简介: 冯虎林(1989—), 男, 化学分析工程师、化学检验技师, 主要从事有色选冶样品加工及检测领域, E-mail: fenghulin@126.com

Key words: tube furnace; infrared absorption method; water-quenched slag; carbon content

回转窑是锌金属冶炼过程中的重要工序,其主要作用:一是将氧化锌精矿挥发成氧化锌粉,用于下游湿法工序的浸出、净化及电解;二是对硫化锌精矿经湿法浸出工艺后产生的含锌等有价值金属浸出渣进行挥发处理,生成次氧化锌用于锌等有价值金属回收,实现浸出渣的无害化处理。回转窑处理物料时需将焦炭与物料混匀制粒,利用焦炭燃烧提供热量,并通过碳的还原性确保挥发烟尘中的锌生成氧化锌。随着回转窑的转动,高温固体渣从窑尾流出,表明有价值金属已挥发完全。通过水淬快速冷却形成水淬渣,可直接用于建筑等行业。因此,水淬渣中的碳含量可作为衡量回转窑运行状况的重要指标:若碳含量过高,则表明焦炭利用率较低;而碳含量过低,则表明锌等有价值金属还原不彻底,进而导致回收率低。

传统检测碳含量的方法主要有滴定法(非水)^[1-3]、灼烧称重法^[3],该类方法虽然准确性较好,但其存在操作复杂、耗时长、对操作人员技能要求高等缺点。近年来,红外吸收光谱法逐步兴起,尤其是高频红外吸收光谱法^[4-7],其被广泛应用于各类样品中碳硫含量的检测。但该方法存在一定局限性,样品用量通常不超过 500 mg,且高频激发会产生大量粉尘,可能存在样品飞溅及管路堵塞风险,因此需每间隔一段时间对管路进行彻底清灰处理。相比之下采用管式炉-红外吸收法^[8-10]可有效避免上述问题,同时还具有称样量大、分析精度高、检出限低等优点。

目前,管式炉-红外吸收法因操作简便、自动化程度高、分析时间短等优点逐渐被关注。然而,关于采用红外吸收法测定水淬渣中碳含量的报道仍较为有限,尤其是管式炉-红外吸收法在水淬渣碳含量测定中的应用研究。本试验以碳酸钙实际称样量换算成碳绝对含量绘制校准曲线,建立了一种管式炉-红外吸收法,进一步用于准确、高效的测定水淬渣中的碳含量。同时通过优化试验条件,保障了测定结果的准确性和可靠性。

1 试验部分

1.1 仪器与试剂

高频红外碳硫仪:CS-3000G,钢研纳克检测技术股份有限公司;电子天平:Secura224-1CEU,量程 0~220 g,0.1 mg,赛多利斯科学仪器有限公司;

陶瓷纤维马弗炉:TXC30,北京皮尔美特科技有限公司;瓷舟:77 mm,醴陵市茶山万财坭坭瓷业有限公司。

氧气:纯度>99.5%,莎车县金恒气体有限公司;无水高氯酸镁:粒装,分析纯,阿尔法资源有限公司;碱性石棉:碳硫仪专用,钢研纳克检测技术股份有限公司;纯钨:碳硫仪专用,纯度 $\geq 99.95\%$,南京众诚分析仪器有限公司;氧化铜:粉末,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;碳酸钙:105 °C 烘干 3 h,纯度 $\geq 99.99\%$,国药集团化学试剂有限公司。

样品:选用新疆某公司生产过程中的控制样品,样品标号分别为 1#、2#、3#、4#、5#。

注:试验前在仪器对应干燥管中放入高氯酸镁、碱性石棉,仪器预热时通氧以除去水分和二氧化碳,进而确保基线的稳定性。

1.2 试验方法

1.2.1 前处理

在使用瓷舟前,需要将其置于陶瓷纤维马弗炉中进行预处理。处理过程:将温度设置为 1 000 °C 以上,保持 2 h 以上。此处理步骤可有效去除瓷舟中残留的碳酸盐、有机物和水分等,避免其影响检测结果。

1.2.2 校准曲线绘制

仪器预热并等待基线稳定后,先在瓷舟中加入钨+铜助熔剂,检测空白样品的稳定性。随后将准备好的碳酸钙与钨+铜助熔剂的混合样品依次推入管式炉,设置炉内温度为 1 250 °C。炉内碳酸钙会在高温下转化为二氧化碳,二氧化碳气流进一步通过红外检测器被检测。最终以碳酸钙实际称样量换算成碳绝对含量为纵坐标,转化二氧化碳吸收峰面积为横坐标,绘制校准曲线。

1.2.3 样品测定

在瓷舟中准确加入 0.200 0 g 待测样品,加入钨+铜助熔剂。按照校准曲线的仪器工作条件进行测定,直接得出对应的峰面积,通过计算机数据换算处理,最终自动显示碳含量结果。

2 结果与讨论

2.1 样品量选择

水淬渣硬度较高,样品制备后均匀性较差。若待测样品称取量过少,会出现结果重复性、准确性较差等问题。而待测样品称取量过多时,又容易出

现在管式炉中燃烧不完全的情况. 在考虑瓷舟装样空间的情况下, 分别称取 0.100 0、0.150 0、0.200 0、0.250 0、0.300 0 g 待测样品, 以钨+铜作为助熔剂, 通氧速率为 3 L/min, 温度为 1 250℃ 进行试验, 探究称样量对碳含量测试结果的影响, 检测结果如表 1 所列.

由表 1 结果可知, 样品的称取量对测试结果的

准确性、精密度均有影响. 称样量为 0.100 0、0.150 0 g 时, 测试结果的准确性、精密度较差. 而当称样量为 0.250 0、0.300 0 g 时, 样品测试结果较为理想, 但测试时间的延长及称样量的增加会使出峰存在拖尾现象(具体如图 1 所示). 综合考虑, 本试验选择 0.200 0 g 作为样品称样量, 既可满足测试准确性、分析时间适中, 又可避免拖尾现象.

表 1 不同称样量对碳含量测定的影响

Table 1 Effect of different sample masses on determination of carbon content

样品	称样量/g	测试结果/%	平均值/%	RSD/%
1#	0.100 0	1.343、1.348、1.357、1.392、1.321、1.352、1.348	1.352	1.57
	0.150 0	1.333、1.346、1.368、1.379、1.341、1.334、1.368	1.353	1.38
	0.200 0	1.372、1.358、1.378、1.361、1.328、1.371、1.358	1.361	1.21
	0.250 0	1.367、1.350、1.355、1.369、1.333、1.372、1.383	1.361	1.22
	0.300 0	1.346、1.352、1.351、1.357、1.389、1.353、1.362	1.359	1.05
3#	0.100 0	5.943、6.027、5.959、5.901、5.968、5.955、5.947	5.957	0.63
	0.150 0	5.907、5.993、5.973、6.102、6.029、5.997、6.120	6.017	1.23
	0.200 0	5.984、5.992、6.027、6.043、5.998、6.101、6.128	6.039	0.93
	0.250 0	5.989、5.993、6.023、5.997、6.120、6.073、6.057	6.036	0.82
	0.300 0	6.044、5.987、5.903、6.068、6.099、6.104、6.078	6.040	1.20
5#	0.100 0	12.244、12.476、12.342、12.608、12.209、12.677、12.829	12.484	1.86
	0.150 0	12.441、12.643、12.812、12.531、12.788、12.861、12.874	12.707	1.34
	0.200 0	12.653、12.841、12.987、12.773、12.894、12.746、12.543	12.777	1.17
	0.250 0	12.516、12.900、12.679、12.732、12.814、12.903、12.845	12.770	1.09
	0.300 0	12.445、12.863、12.932、12.807、12.632、12.754、12.662	12.728	1.28

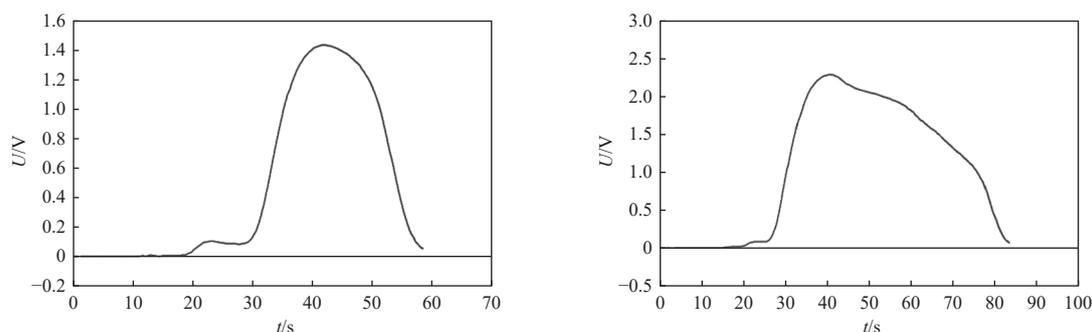


图 1 (a) 正常出峰(称样量:0.200 0 g), (b) 出峰拖尾(称样量:0.300 0 g)

Fig. 1 (a) Normal peak output at 0.200 0 g, (b) peak tailing at 0.300 0 g

2.2 助熔剂选择

在碳硫分析时, 常采用锡粒、钨粒、钨+铁、钨+锡、钨+铜、铜+锡作为助熔剂^[11-13], 以加速样品的分解, 从而保证检测结果的准确性. 本试验对常

见助熔剂进行探究, 称取 0.200 0 g 样品, 所有助熔剂探究试验均在通氧高温下进行, 通氧速率为 3 L/min, 温度为 1 250℃, 检测结果如表 2 所列.

水淬渣经过高温急速冷却生成, 具有抗高温、

表 2 助熔剂试验

Table 2 Flux test

样品	助熔剂/g	本试验测定 碳含量/%	滴定法测定 碳含量/%	碳释 放率/%
1#	不加助熔剂	1.242	1.361	91.26
	Sn: 0.5	1.295		95.15
	W: 1.0	1.327		97.50
	W: 1.0 + Fe: 0.5	1.338		98.31
	W: 1.0 + Sn: 0.5	1.346		98.90
	W: 1.0 + Cu: 0.5	1.363		100.15
	Cu: 0.5 + Sn: 0.5	1.342		98.60
	3#	不加助熔剂	5.468	6.039
Sn: 0.5		5.962		98.72
W: 1.0		5.989		99.17
W: 1.0 + Fe: 0.5		5.993		99.24
W: 1.0 + Sn: 0.5		5.981		99.04
W: 1.0 + Cu: 0.5		6.032		99.88
Cu: 0.5 + Sn: 0.5		6.001		99.37
5#		不加助熔剂	11.871	12.777
	Sn: 0.5	12.683		99.26
	W: 1.0	12.705		99.44
	W: 1.0 + Fe: 0.5	12.729		99.62
	W: 1.0 + Sn: 0.5	12.734		99.66
	W: 1.0 + Cu: 0.5	12.782		100.04
	Cu: 0.5 + Sn: 0.5	12.769		99.94

注: 检测结果为测定5次结果的平均值

难氧化等特性, 由检测结果可知, 在通氧高温 (1 250 °C) 条件下, 选择钨+铜助熔剂可使样品中的碳完全释放. 这主要得益于钨+铜助熔剂的优异性能: (1) 钨金属在 650 °C 开始氧化生成三氧化钨, 具有反应快、发热高的特点, 可为样品提供高温条件, 促进碳的充分燃烧; (2) 产生的三氧化钨体积蓬松且具有缝隙, 不会形成覆盖层, 因此碳转化为二氧化碳后能够快速通过孔隙快速释放; (3) 铜的熔点在 1 083 °C, 极易转变为氧化铜, 且这一过程伴随放热现象. 在高温下, 氧化铜会进一步分解成氧化亚铜并释放氧气, 为碳转化为二氧化碳提供氧源, 从而促使反应进行. 因此, 最终选择钨+铜助熔剂作为本试验的助熔剂.

2.3 燃烧温度选择

水淬渣中的碳主要来源于回转窑中未完全燃

烧的焦炭, 焦炭需在较高温度下才能彻底燃烧. 锌冶炼用回转窑的高温区通常在 1 000~1 200 °C, 焦炭的灰分、挥发分温度则低于 950 °C. 本试验选用的管式炉温度理论上最大可设置到 1 600 °C, 但实际使用不超过 1 400 °C, 若超过此温度, 会加剧燃烧管的损耗, 甚至导致其炸裂, 此时就需要拆机更换. 因此需找到合适的温度, 确保水淬渣中碳完全溢出的同时, 确保仪器使用安全可靠. 称取 0.200 0 g 样品, 以钨+铜作为助熔剂、通氧流速 3 L/min, 分别设置温度为 1 000、1 100、1 200、1 250、1 300 °C 进行样品检测, 具体结果如表 3 所列.

表 3 不同管式炉温度下的碳含量测定

Table 3 Determination of carbon content at different tube furnace temperatures

样品	管式炉温度/°C					碳参考值/%
	1 000	1 100	1 200	1 250	1 300	
1#	1.287	1.349	1.369	1.362	1.364	1.361
3#	5.887	5.984	6.025	6.042	6.022	6.039
5#	12.005	12.389	12.698	12.779	12.780	12.777

注: 检测结果为测定5次结果的平均值

由表 3 结果可知, 当温度低于 1 200 °C 时, 对于低含量样品结果影响不大, 而高含量样品结果出现明显偏低. 这表明当温度低于 1 200 °C 时, 水淬渣样品中的碳分解不彻底, 而在 1 250、1 300 °C 的条件下, 检测结果基本保持一致. 因此本试验选择燃烧温度为 1 250 °C.

2.4 校准曲线绘制

按照优化后的试验方法, 依据表 4 中碳酸钙质

表 4 碳酸钙校准曲线数据

Table 4 Calibration curve datas of calcium carbonate

标准值%	碳酸钙 质量/g	碳含量		峰面积
		称样量/g	碳绝对含量/%	
12.00	0	0.200 0	0	0.921
	0.010 0		0.60	7.205
	0.020 0		1.20	12.806
	0.050 0		3.00	32.371
	0.100 0		6.00	67.979
	0.150 0		9.00	98.087
	0.200 0		12.00	130.295
	0.250 0		15.00	163.503

量称取并进行测定.表中“碳含量”是以碳酸钙实际称样量换算成碳绝对含量(以称样量 0.200 0 g 计算).以碳绝对含量为横坐标,积分面积为纵坐标绘制校准曲线.试验结果表明,碳含量在 0%~15.00% 之间与峰面积线性关系较好,校准曲线线性方程为 $y=10.858x+0.6275$,线性确定系数(R^2)为 0.999 7.

2.5 方法检出限和测定范围

在全流程空白试验中仅加入钨+铜助熔剂,平行测定 11 次,计算标准偏差,以标准偏差的 3 倍作为方法检出限,10 倍作为方法定量限.

按照表 5 计算可得,该方法的标准偏差为 0.0037%,检出限为 0.011%,定量下限为 0.037%,绘制校准曲线时的最高点相当于碳绝对含量的 15.00%,因此水淬渣中碳含量的测定范围为 0.037%~15.00%.

2.6 方法比对

称取 0.200 0 g 样品,加入钨+铜助熔剂,在 1 250 °C 条件下进行测定,根据表 6 的数据,可评估管式炉-红外吸收法测定水淬渣中碳含量的方法性能.

表 5 方法检出限和定量下限

Table 5 Method detection limit and lower limit of quantitation

	测定值	标准偏差	方法检出限	定量下限
样品空白	0.023、0.031、0.024、0.028、0.030、0.032、 0.029、0.027、0.022、0.023、0.022	0.003 7	0.011	0.037

表 6 水淬渣中碳含量检测结果

Table 6 Test results of carbon content in water-quenched slag

样品	测定值	平均值	RSD($n=7$)	滴定法测定值
2#	3.712、3.689、3.654、3.732、3.698、3.832、3.707	3.718	1.50	3.726
4#	9.949、9.830、9.645、9.940、9.933、9.841、9.991	9.876	1.19	9.843

根据表 6 的数据可知,管式炉-红外吸收法与滴定法(非水)的测定结果基本一致,这表明管式炉-红外吸收法具有较好的准确度.此外,该方法的标准偏差小于 3%,显示出较高的精密度.综上所述,采用管式炉-红外吸收法在测定水淬渣中碳含量时,具有良好的精密度和准确度,是一种可靠的用于分析水淬渣中碳含量的方法.

2.7 加标回收率

称取 0.200 0 g 样品及相应量的碳酸钙并放入瓷舟中,搅拌后加入钨+铜助熔剂.按照校准曲线的仪器工作条件进行测定,其中 1#样品加入 0.030 0 g 碳

酸钙、3#样品加入 0.020 0 g 碳酸钙、5#样品加入 0.010 0 g 碳酸钙,重复测定 7 次,得到加标回收率测试结果,结果如表 7 所列.由加标回收率结果可知,测试结果较好.样品 1#、3#、5#的加标测定平均值与理论值接近且回收率在 99.40%~101.73% 之间,这表明该方法具有可行性,且重复性和稳定性良好.用 t 检验验证回收率的准确性,加标回收率偏差范围满足 GB/T 27417—2017 附录 A^[14] 的要求,统计量:

$$t = \frac{|\bar{x} - u|}{s/\sqrt{n}}$$

表 7 加标回收率试验

Table 7 Test of spiked recoveries

样品	本方法 测定值/%	碳酸钙 的加入量/g	结果/%				回收 率/%	统计 值 t	临界 值 t	
			理论值	测量值						平均值
1#	1.361	0.030 0	3.161	3.164、3.132、3.332、3.207、3.183、3.198、3.294			3.216	101.73	2.02	2.45
3#	6.039	0.020 0	7.239	7.321、7.147、7.098、7.104、7.298、7.203、7.198			7.196	99.40	1.30	2.45
5#	12.777	0.010 0	13.377	13.387、13.501、13.368、13.409、13.341、13.505、13.277			13.398	100.16	0.68	2.45

取置信概率为 95%, $\alpha=0.05$, 自由度 $f=n-1=6$, 由 GB/T 35657—2017 附录 J^[15] 查得临界值 $t_{0.05}(6)=2.45$. $t < t_{0.05}(6)$, 这说明在日常检测中不需要用回收率校正检测结果。

3 结论

管式炉-红外吸收法能够在 1 250 °C 的条件下将水渣渣样品中的碳燃烧转化为二氧化碳, 从而实现对碳含量的测定. 与传统的滴定法(非水)相比, 管式炉-红外吸收法具有操作简单、分析时间短、检出限低等优点, 测定范围可满足生产要求. 另外, 该方法具有较高的精密度, 能够提供稳定可靠的分析结果。

参考文献:

- [1] 伍耀林. 红外吸收与非水滴定法测定硅酸盐岩石总碳的分析与比较 [J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2017, 40(4): 391-394. [WU Yaolin. Analysis and comparison of the total carbon content in silicate rocks by infrared absorption method and nonaqueous titration method[J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 2017, 40(4): 391-394.]
- [2] 王娇, 王雨童. 管式炉燃烧-滴定法快速测定硅铁中碳硫含量 [J]. 广州化工, 2019, 47(8): 92-94. [WANG Jiao, WANG Yutong. Rapid determination of combustion-titration in tube furnace carbon and sulfur content in ferrosilicon[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2019, 47(8): 92-94.]
- [3] 林芳. 铝电解炭渣中碳含量测定方法的改进 [J]. 轻金属, 2024(3): 39-41. [LIN Fang. Improvement of the method for determining carbon content in aluminum electrolytic carbon slag[J]. Light Metals, 2024(3): 39-41.]
- [4] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 纳米制造 关键控制特性 纳米储能 第 6 部分: 纳米电极材料中的碳含量测定 红外吸收法: GB/T 41232.6—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [5] 刘攀, 李斌, 龚慧, 等. 高频感应燃烧红外吸收法测定铁硅铝合金中碳 [J]. 冶金分析, 2024, 44(1): 52-58. [LIU Pan, LI Bin, GONG Hui, et al. Determination of carbon in iron-silicon-aluminum alloy by high frequency induction combustion infrared absorption method[J]. Metallurgical Analysis, 2024, 44(1): 52-58.]
- [6] 王娟, 王彩云, 林天闻. 高频燃烧红外吸收法测定铁矿石中硫含量的方法验证 [J]. 中国检验检测, 2024, 32(5): 83-85, 73.
- [7] 王琳, 王楠. 高频燃烧红外吸收法测定铜铅锌多金属矿中的碳、硫 [J]. 中国无机分析化学, 2024, 14(11): 1563-1568. [WANG Lin, WANG Nan. Determination of carbon and sulfur in copper-lead-zinc polymetallic ores by high frequency combustion infrared absorption method[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2024, 14(11): 1563-1568.]
- [8] 刘军, 耿海燕. 管式炉红外吸收光谱法测定铬铁矿中碳 [J]. 中国无机分析化学, 2023, 13(11): 1204-1208. [LIU Jun, GENG Haiyan. Determination of carbon in chromite by tube furnace infrared absorption method[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2023, 13(11): 1204-1208.]
- [9] 李英秋, 纪新华, 吴梅, 等. 管式炉加热-红外吸收法测定铀金属中碳 [J]. 冶金分析, 2015, 35(1): 59-62. [LI Yingqiu, JI Xinhua, WU Mei, et al. Determination of carbon in uranium metals by tubular furnace heating-infrared absorption method[J]. Metallurgical Analysis, 2015, 35(1): 59-62.]
- [10] 蒙文飞, 刘杰, 兰福荫, 等. 电阻燃烧-红外吸收法测定阴极铜中微量硫 [J]. 冶金分析, 2024, 44(2): 71-76. [MENG Wenfei, LIU Jie, LAN Fuyin, et al. Determination of trace sulfur in cathode copper by resistance combustion-infrared absorption method[J]. Metallurgical Analysis, 2024, 44(2): 71-76.]
- [11] 闫璐, 武帅, 单勇革. 助熔剂对钢铁中碳含量测定的影响探究 [J]. 山西冶金, 2024, 47(6): 29-31. [YAN Lu, WU Shuai, SHAN Yong'ge. Exploration of the influence of fluxes on the determination of carbon content in steel[J]. Shanxi Metallurgy, 2024, 47(6): 29-31.]
- [12] 方雅琴, 贾正勋, 于晓琪, 等. 助熔剂对高频红外碳硫仪分析结果的影响分析 [J]. 山东化工, 2021, 50(14): 118-120, 123. [FANG Yaqin, JIA Zhengxun, YU Xiaochi, et al. Analysis of the influence of flux on the analysis result S of high frequency infrared carbon sulfur analyzer[J]. Shandong Chemical Industry, 2021, 50(14): 118-120, 123.]
- [13] 钟华. 助熔剂对碳酸钠校准高频燃烧红外吸收法测定钢铁中高含量碳的影响因素探讨 [J]. 冶金分析, 2019, 39(9): 14-20. [ZHONG Hua. Discussion on the influence factors of flux on determination of high content carbon in iron and steel by sodium carbonate calibration-high frequency combustion infrared absorp-

- tion method[J]. Metallurgical Analysis, 2019, 39(9): 14-20.]
- [14] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 合格评定 化学分析方法确认和验证指南: GB/T 27417—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [15] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学分析方法验证确认和内部质量控制实施指南 基于样品消解的金属组分分析: GB/T 35657—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

关于《分析测试技术与仪器》官方网站变更及防范假冒网站的公告

尊敬的作者、审稿专家及读者:

《分析测试技术与仪器》期刊官网网址已于 2025 年 3 月 20 日正式变更为 <http://www.fxcsjs.cn>, 所有投稿、查稿及审稿操作均须通过新网址进行, 原网址已停止服务.

另外, 有不法分子仿冒我刊开设网站, 在此郑重声明: <http://www.fxcsjs.cn> 是我刊唯一的官方网站, 其他链接均属假冒.

如有任何疑问或建议, 请联系《分析测试技术与仪器》编辑部, 电话: 0931-4968280/13109326463, E-mail: fxcs@licp.cas.cn, 感谢大家对《分析测试技术与仪器》的支持!

《分析测试技术与仪器》编辑部