焙烧钼精矿化学分析方法

第10部分：硅含量的测定

钼蓝分光光度法

编

制

说

明

（征求意见稿）

《焙烧钼精矿化学分析方法》编制组

2022年5月

焙烧钼精矿化学分析方法

第10部分：硅含量的测定

钼蓝分光光度法

编制说明

一、 工作简况

1.1 任务来源

2020年7月，工业和信息化部下发了《关于印发2020年第二批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》【工信厅科函〔2020〕181号】，确定了《焙烧钼精矿化学分析方法 第10部分：硅含量的测定 钼蓝分光光度法》行业标准制定任务。项目计划编号为2020-0710T-YS，项目周期为24个月，计划完成年限为2022年，归口单位为全国有色金属标准化技术委员会。本标准原计划由金堆城钼业股份有限公司负责，后根据标准编制工作任务量实际，重新调整项目负责单位为西安汉唐分析检测有限公司。

1.2 主要参加单位和工作成员及其所做的工作

本文件起草单位：西安汉唐分析检测有限公司、金堆城钼业股份有限公司、洛阳钼业集团股份有限公司、酒泉钢铁有限责任公司。

西安汉唐分析检测有限公司作为标准起草负责单位，在工作前期，对焙烧钼精矿的检测需求和现阶段国内外检测方法现状进行了充分的调研和梳理，并制定了系统的研究方案。在标准制定过程中，完成了试验样品的搜集和分发；完成了分析方法的研究工作；撰写了标准文件、研究报告和编制说明；完成了数据分析统计工作；广泛征求了国内同行试验室及相关企业的意见。金堆城钼业股份有限公司为第一验证单位，在标准制定过程中对标准文件和研究报告中的各项试验参数进行了验证。同时，提供了试验样品的精密度数据，对标准文件、研究报告和编制说明提出了相应的修改建议。洛阳钼业集团股份有限公司和酒泉钢铁有限责任公司为第二验证单位，在标准制定过程中对试验样品进行了测试，提供了精密度数据，并对标准文件提出了修改建议。

本文件主要起草人：刘雷雷、禄妮、郭玉、王璇、冯蕾。

刘雷雷、禄妮负责标准工作整体协调和推进；标准起草前期调研、样品搜集；试验方案的确定；标准文件、研究报告和编制说明编写。重复性验证试验；修改标准文件、研究报告和编制说明。郭玉、王璇对研究报告中各项参数条件、试验步骤以及试剂材料等进行全面验证；对试验样品进行测定；对标准文件、研究报告和编制说明提出修改建议。冯蕾对试验样品进行测试，提供比对试验数据；对标准文件、研究报告和编制说明提出修改建议。

1.3 主要工作过程

西安汉唐分析检测有限公司在接到标准制订任务后，成立了标准编制组，并召开了标准项目编制启动会议，对标准编写工作进行了部署和分工，主要工作过程经历了以下几个阶段。

1.3.1 起草阶段

（1）2020年7月，接到【工信厅科函〔2020〕181号】文件通知。

（2）2020年11月，在桐乡有色金属标准工作会议上，形成《焙烧钼精矿化学分析方法 第10部分：硅含量的测定 钼蓝分光光度法》标准任务落实会会议纪要，确定由金堆城钼业股份有限公司为第一验证单位，酒泉钢铁有限责任公司和洛阳钼业集团股份有限公司为第二验证单位，共同参与标准制定工作。

（3）2021年1月，组建《焙烧钼精矿化学分析方法 第10部分：硅含量的测定 钼蓝分光光度法》起草小组：撰写开题报告，落实课题组长及课题成员的任务，确定标准编审原则。

（4）2021年10月，完成相应分析方法样品的收集和相关研究工作，形成了讨论稿和研究报告等，并连同验证样品一起交洛阳钼业集团股份有限公司、金堆城钼业股份有限公司、酒泉钢铁有限责任公司。

（5）2022年2月，陆续收到各验证单位的研究报告及反馈意见，对参与验证单位的意见和建议进行汇总处理，对讨论稿进行修改，完善试验报告，撰写编制说明。

（6）2022年2月28日～3月1日，参加全国稀有金属标准化技术委员会召开的网络标准讨论会；会上宝钛集团有限公司、国核锆铪理化检测有限公司、新疆湘润新材料科技有限公司、太钢不锈股份有限公司、国标（北京）检验认证有限公司等单位的三十余位专家代表对标准（讨论稿）提出了修改意见。

（7）会议结束之后，标准编制组根据讨论结果，对讨论稿进行进一步的修改完善，形成了《焙烧钼精矿化学分析方法 第10部分：硅含量的测定 钼蓝分光光度法》征求意见稿。

1.3.2 征求意见阶段

（1）编制组通过发函、中国有色金属标准质量信息网上公开和会议等形式对《焙烧钼精矿化学分析方法 第10部分：硅含量的测定 钼蓝分光光度法》征求意见稿征询意见。

二、 标准化文件编制原则

2.1 符合性：本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》、GB/T 20001.4—2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》、GB/T 6379.2—2004《测量方法与结果的准确度》的要求进行了编写。

2.2 合理性：反映当前国内各生产企业的技术水平，宜于应用，经济上合理，兼顾现有资源的合理配置。

2.3 先进性：本文件涉及的内容，技术水平不低于当前国内先进水平。

三、 标准主要内容的确定依据

本文件是首次制定，是在充分调研了生产的实际水平后完成的。起草单位和第一验证单位就方法检测敢为、试料溶解方法、吸收曲线、硝酸加入量、钼酸铵溶液加入量、草酸-硫酸混酸加入量、抗坏血酸溶液加入量、共存元素的干扰进行了研究，并开展了精密度试验和加标回收试验。

3.1 方法检测范围

结合实际检测需求和工作曲线线性范围，确定出本文件中硅元素含量的测定范围为0.15%～8.00%。

3.2 试验样品准备

共准备了五个不同水平的实际焙烧钼精矿样品进行实验室间比对。

3.3 试料溶解方法

焙烧钼精矿可以用碱熔融-酸化或硝酸-氢氟酸混酸进行溶解。采用碱熔融需在银坩埚中高温加热熔融后采用硝酸酸化，操作步骤较繁琐并易引入污染。本法选择使用硝酸-氢氟酸混酸溶解试样，过量的氢氟酸则通过加入饱和硼酸溶液予以掩蔽。而采用微波消解可以快速溶解样品，并且消解时可以保证硅不会挥发。样品溶解效率高、操作简单、硅的测定结果稳定可靠。

为防止试剂空白高的问题，试验中所用试剂，包括氢氟酸、硝酸均为优级纯。

3.4 吸收曲线

取40 μg硅标准溶液，按实验步骤进行显色，并选择在700 nm～900 nm波长范围内进行吸光度值测定，吸收曲线见图1。由图1可见，络合物在800 nm处有最大吸收峰。因此，本法选择测定波长为800 nm。

图1 硅吸收曲线

3.5 硝酸加入量

溶液酸度对硅显色液吸光度值影响很大，溶液的pH值应控制在0.5～1.0之间。实验移取40 µg硅标准溶液4份于一组100 mL容量瓶中，分别加入0.5 mL、1.0 mL、2.0 mL、3.0 mL硝酸，以下按实验步骤进行显色并测定其吸光度，结果见表1所示。

表1 硝酸加入量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 硝酸/mL | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 3.0 |
| 吸光度 | 0.125 | 0.268 | 0.270 | 0.242 |

由表1数据可见，当硝酸加入量为1.0 mL和2.0 mL时，吸光度值最大且数值稳定。本方法选择加入硝酸1.0 mL。

3.6 钼酸铵溶液加入量

加入钼酸铵溶液是为了与溶液中的正硅酸形成硅钼杂多酸络离子，钼酸铵加入量应稍过量。因为一方面，钼酸铵过量太多会使显色液酸度发生改变；另外，钼酸铵本身的高价钼在加入抗坏血酸后，也可能被还原至低价生成钼蓝，致使吸光度值成倍增加。

实验移取100 µg硅标准溶液，按条件试验方法进行操作，仅改变钼酸铵溶液加入量，实验结果见表2。由表中数据可见：钼酸铵加入量为1 mL～2 mL时，吸光度明显偏低；钼酸铵加入量为15 mL～20 mL时，吸光度明显偏高；钼酸铵加入量在4 mL～10 mL时，吸光度值基本一致。本方法选择加入钼酸铵溶液5 mL。

表2 钼酸铵加入量

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钼酸铵/mL | 1 | 2 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| 吸光度 | 0.611 | 0.639 | 0.661 | 0.665 | 0.663 | 0.681 | 0.711 |

3.7 草酸-硫酸混酸加入量

在形成硅钼杂多酸的条件下，磷和砷也同时形成杂多酸。为了消除磷和砷对硅测定的影响，一般可采用硫酸提高溶液酸度或加入酒石酸、草酸等有机酸使钼磷及砷磷杂多酸分解。本方法选用加入草酸-硫酸混酸。

移取40 µg硅标准溶液，按条件试验方法进行操作，仅改变草酸-硫酸混酸的加入量，考察草酸-硫酸混酸加入量对硅测定结果的影响。试验结果证明：当草酸-硫酸混酸加入量小于5 mL时，显色液吸光度值偏高；而当草酸-硫酸混酸加入量在10 mL～25 mL时，吸光度值基本一致。本方法选择加入草酸-硫酸混酸20 mL。

3.8 抗坏血酸溶液加入量

实验移取100 µg硅标准溶液，按条件试验方法进行操作，仅改变抗坏血酸溶液的加入量，考察抗坏血酸溶液加入量对硅测定结果的影响，实验结果见表3。

表3 抗坏血酸加入量

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 抗坏血酸/mL | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 7 | 8 |
| 吸光度 | 0.604 | 0.661 | 0.668 | 0.668 | 0.665 | 0.670 |

表中结果表明：当抗坏血酸加入量小于1 mL时，吸光度偏低，即还原剂加入量不足；当抗坏血酸加入量在2 mL以上时，吸光度基本一致。本方法选择加入抗坏血酸溶液5 mL。

3.9 共存元素的干扰

按试验方法于一系列100 mL容量瓶中，根据GB/T 24482—2009《焙烧钼精矿》，分别加入基体钼和共存元素钨、铜、铅、铁等元素的最大量，考察各元素对20 µg和80 µg硅测定的干扰情况。试验结果表明：5 mg钼，1 mg铅、铁，0.5 mg钨、铜，10 µg的磷、砷等元素均不干扰硅的测定。

3.10 精密度试验

对5个不同水平的焙烧钼精矿样品中的硅含量按试验方法进行11次平行测定，计算平均值、标准偏差及相对标准偏差，结果见表4。

表4 精密度试验结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 品名 | 硅测定结果% | 平均值% | SD% | RSD% |
| 水平1 | 0.631、0.644、0.641、0.639、0.648、0.654、0.651、0.649、0.658、0.641、0.653 | 0.646 | 0.008 | 1.22 |
| 水平2 | 3.761、3.813、3.766、3.641、3.824、3.815、3.758、3.762、3.666、3.843、3.756 | 3.764 | 0.063 | 1.67 |
| 水平3 | 6.322、6.339、6.217、6.223、6.326、6.320、6.123、6.322、6.226、6.225、6.319 | 6.269 | 0.070 | 1.11 |
| 水平4 | 4.471、4.438、4.475、4.573、4.369、4.475、4.372、4.468、4.473、4.470、4.464 | 4.458 | 0.055 | 1.23 |
| 水平5 | 7.462、7.463、7.458、7.562、7.464、7.468、7.454、7.391、7.458、7.542、7.502 | 7.474 | 0.046 | 0.618 |

从表4结果可以看出：针对硅含量为0.6%～8.0%的焙烧钼精矿样品，本方法的相对标准偏差均小于2.00%，证明该法精密度较好。

3.11 准确度试验

样品1～样品4为工业氧化钼标准样品（YSS 104-2020），通过与标准值对比〔样品1（0.63%±%0.04）、样品2（3.72%±0.09%）、样品3（6.29%±0.07%）和样品4（4.38%±0.13%）〕，满足扩展不确定度的要求，证明方法准确度较高。

3.12 主要试验（或验证）的分析、综述报告

3.12.1 实验室间数据比对结果汇总

在完成相关条件试验后，各参编单位按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》中关于精密度的要求，对5个焙烧钼精矿样品中硅元素的含量进行了平行测定，实验结果见表5。在汇总数据后，西安汉唐分析检测有限公司按照GB/T 6379.2—2004《测量方法与结果的准确度》，对4家参编单位的试验验证数据进行统计计算，重复性限和再现性限分别见表6和表7。

表5 实验室间数据比对结果汇总

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验单位 | 西安汉唐分析检测有限公司 | 金堆城钼业股份有限公司 | 洛阳钼业集团股份有限公司 | 酒泉钢铁有限责任公司 |
| 水平1 | 平均值/% | 0.646 |  |  | 0.646 |
| RSD/% | 1.22 |  |  | 0.58 |
| 水平2 | 平均值/% | 3.764 |  |  | 3.764 |
| RSD/% | 1.67 |  |  | 0.14 |
| 水平3 | 平均值/% | 4.459 |  |  | 4.457 |
| RSD/% | 1.23 |  |  | 0.09 |
| 水平4 | 平均值/% | 6.269 |  |  | 6.265 |
| RSD/% | 1.11 |  |  | 0.10 |
| 水平5 | 平均值/% | 7.475 |  |  | 7.476 |
| RSD/% | 0.62 |  |  | 0.10 |

3.12.2 重复性

在重复性条件下获得的两次独立测试结果的测定值，在表6给出的平均值范围内，两个测试结果的绝对差值不超过重复性限（*r*），超过重复性限（*r*）情况不超过5%。重复性限（*r*）按表6数据采用线性内插法或外延法求得。

表6 重复性限

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *w*Si/% | 0.65 | 3.76 | 4.46 | 6.27 | 7.47 |
| *r*/% |  |  |  |  |  |

3.12.3 再现性

在再现性条件下获得的两次独立测试结果的测定值，在表7给出的平均值范围内，两个测试结果的绝对差值不超过再现性限（*R*），超过再现性限（*R*）情况不超过5%。再现性限（*R*）按表7数据采用线性内插法或外延法求得。

表7 再现性限

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *w*Si/% | 0.65 | 3.76 | 4.46 | 6.27 | 7.47 |
| *R*/% |  |  |  |  |  |

四、 标准中涉及专利的情况

本文件不涉及专利问题。

五、 预期达到的社会效益等情况

5.1 标准的必要性

焙烧钼精矿又称三氧化钼或工业氧化钼，泛指钼精矿焙烧的焙砂。将钼精矿在630 ℃～700 ℃下进行氧化焙烧，便使硫化钼转化为工业三氧化钼。近年来，随着焙烧钼精矿产业不断发展，伴随加工产品要求的不断提高及产品出口量的日益增加，国内外客户对焙烧钼精矿产品中的钼含量及杂质元素的要求越来越高。而焙烧精矿产品没有化学分析方法国家标准，只能参照采用钼精矿化学分析方法或双方认可的方法进行，其化学分析方法严重滞后于生产贸易的需求。为了适应市场的发展变化及应对可能出现的国外贸易壁垒，满足焙烧钼精矿国家标准中主含量钼及杂质元的的控制要求的需要，特提出制定焙烧钼精矿化学分析方法标准，该系列标准检测技术先进、实用，采用了许多高新仪器分析方法、覆盖现有的大部分检测技术，包括火焰原子吸收光谱法、原子荧光光谱法、高频燃烧红外吸收法及光度法等。使焙烧钼精矿国家标准分析方法与国际先进水平接轨，有利于保证分析结果的一致性，提高进出口贸易中产品技术指标的互信度，并对焙烧钼精矿的生产、研制、使用等有极其重要的意义。

5.2 标准的预期作用

本文件充分考虑了我国焙烧钼精矿生产企业和使用加工企业的生产工艺技术水平。本文件颁布执行后，有利于生产采用统一的分析方法开展产品质量检验工作，有利于市场公平交易环境的形成，具有较大的社会效益。

六、 采用国际标准和国外先进标准的情况

6.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，国外无相同类型的国际标准。

6.2 国际、国外同类标准水平的对比分析

经查，国外无相同类型的国际标准。

6.3 与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

无。

6.4 标准水平分析

本标准的建立提升了检测效率，有利于生产单位生产效率的提高，标准总体达到了国内先进水平。

七、 与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本文件与有关的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

本文件与现行标准及制定中的标准无重复交叉情况。

八、 重大分歧意见的处理经过和依据

编制组严格按既定编制原则进行编写，本文件起草过程中未发生重大的分歧意见。

九、 标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准为行业标准，供相关组织参考采用。

十、 贯彻标准的要求和措施建议

本文件规范了焙烧钼精矿中硅元素含量的测定，有利用整个行业分析水平的提升。本文件发布执行后，建议标准主管单位积极向生产厂家及国内外用户推广。

十一、废止现行有关标准的建议

本文件为新制定文件，无废止其它标准的建议。

十二、其他应予说明的事项

无。

《焙烧钼精矿化学分析方法》编写组

2022年5月