

硅酸铝耐火材料成分的仪器分析方法进展

徐鸿志, 陈志伟

(山东理工大学 分析测试中心, 淄博 255049)

摘要: 对1990—2007年期间仪器分析方法包括分光光度法、AAS、ICP-AES及XRFS在硅酸铝耐火材料成分分析中的应用进展情况作了综述。根据耐火材料分析中仪器分析方法标准化的现状, 作者提出了对这一主题的标准化工作的建议(引述文献68篇)。

关键词: 硅酸铝耐火材料; 仪器分析; 成分分析

中图分类号: O657

文献标识码: A

文章编号: 1001-4020(2007)10-0895-06

Progress of Application of Instrumental Methods to the Analysis of Aluminum Silicate Refractories

XU Hong-zhi, CHEN Zhi-wei

(Analytical and Testing Center, Shandong University of Science and Engineering, Zibo 255049, China)

Abstract: A review on the progress of application of instrumental methods to the analysis of aluminum silicate refractories including spectrophotometry, atomic absorption spectrometry, ICP-AES and XRFS was given in this paper, covering mainly the years from 1990 to 2006. Based on the present status of the standardization of instrumental methods of refractories, some suggestions on this topic were given by the authors (68 ref. cited).

Keywords: Aluminum silicate refractories; Instrumental analysis; Componental analysis

硅酸铝质耐火材料是以 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 为主要成分的耐火材料,按其 Al_2O_3 含量可分为半硅质($w_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 15%~30%)、粘土质($w_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 30%~48%)、高铝质($w_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ >48%)三类。这三类材料品种多,使用范围广,在我国耐火材料生产中占有较大的比重。

为了对原料和产品质量进行有效控制,湿法化学分析(重量法、容量法)在我国硅酸铝质耐火材料的化学成分检测中一直扮演举足轻重的角色。随着仪器技术的快速发展,以及分析工作人员的不懈努力,一些简便、快速的仪器分析方法在硅酸铝质耐火材料成分分析中得以应用和推广。近年来,一大批先进仪器在耐火材料行业和科技部门相继投入应用,有效促进了硅酸铝质耐火材料的实时质量控制的实现。

1 分光光度法

现行硅质耐火材料国家标准^[1]中采用重量钼蓝光度法测定硅质、半硅质耐火材料中质量分数为65%~95%的二氧化硅。该方法以混合溶剂熔融,采用盐酸脱水,分离后滤液中残留的二氧化硅用钼蓝光度法测定,方法的准确度高,但整个分析流程比较长。新修定的铝硅系耐火材料化学分析标准^[2]取代原先的粘土和高铝质分析标准,依二氧化硅含量范围不同按3种方法进行:钼蓝光度法分析 $\leq 5\%$ (质量分数,下同)的二氧化硅;解聚钼蓝光度法用于测定5%~15%的二氧化硅;以聚氧化乙烯为凝聚剂的凝聚重量-钼蓝光度法可分析5%~95%的二氧化硅,该方法覆盖了整个硅酸铝质耐火材料中二氧化硅的含量范围。此外,邻二氮杂菲光度法用于测定铝硅系耐火材料中 $\leq 15\%$ 的氧化铁;钼蓝光度法可测定0.05%~5%的五氧化二磷;采用过氧化氢光度法测定粘土和高铝质耐火材料中0.5%~10%的二氧化钛,以二安替比林甲烷光度法测定半

收稿日期: 2007-05-23

基金项目: 山东省科学仪器设备升级改造项目(2006GG1108097-06)。

作者简介: 徐鸿志(1968—),男,湖北通山县人,工程师,硕士,从事仪器分析的 Teaching 和管理工 作。

硅质耐火材料中为 0.01%~0.5% 的二氧化钛量。在铝硅系耐火材料化学分析国家标准中,试样经混合溶剂熔融,盐酸提取,消除干扰后以二甲苯胺蓝 I-溴化十六烷基三甲铵光度法测定 $\leq 2\%$ 的氧化镁。同国家标准相比,冶金行业推荐方法^[3]中分光光度法的应用更为普遍。分光光度法的选择性好,灵敏度和理论准确度较高,但分析周期比较长。

陈世山^[4]建立了以双波长光度法同时测定铝质耐火材料中铁和钛的方法,铁的线性范围为 0~0.01 g·L⁻¹,钛的线性范围为 0~0.002 g·L⁻¹,相关性良好。郭红丽^[5]探讨了以氟化钾为解聚剂,测定含量低于 30% 的高铝质耐火材料中二氧化硅的解聚-铝蓝光度法,方法准确可靠,重复性好,分析速度快。冀哲明建立的碱融后分取母液硅钼蓝光度法^[6]可用于硅酸铝质耐火材料中较高含量硅的快速测定。王云^[7]通过引入线光源,采用络天青光度法分析了包括硅酸铝质耐火材料在内的多种耐火材料中的微量和常量氧化铝。

2 原子吸收光谱法

在硅酸铝质耐火材料国家和行业标准标准中,原子吸收光谱法被应用于碱金属、碱土金属以及一些难解离微量金属元素的分析。GB/T 6900-2006 和 GB/T 6901-2004 标准中,采用高氯酸和氢氟酸分解试样,盐酸为介质,以火焰原子吸收光谱法分别测定硅酸铝质耐火材料 0.02%~2% 的氧化镁和 0.02%~5% 的氧化钙;半硅质、粘土质试样采用氢氟酸-高氯酸混合酸分解,高铝质试样以偏硼酸锂溶解,转换成酸性溶液后,经原子吸收光谱法可测定试样中 0.01%~4% 的氧化钾和 0.01%~8% 氧化钠。同时原子吸收光谱法也是测定硅酸铝质耐火材料中氧化锰的唯一国家标准方法,试样以混合酸分解,不熔残渣用混合熔剂熔融,制备成盐酸溶液后可测定为 0.01%~3% 的氧化锰。

陈焱^[8]采用同一种前处理方案,以原子吸收光谱法同时测定矾土中氧化钾、氧化钠、氧化钙和氧化镁含量。王育红^[9]等报道了采用 HF-HClO₄ 溶解样品,以原子吸收光谱法连续测定硅酸盐中铁、钙、镁、锰、钠和钾等 6 种元素。徐霞^[10]采用一次溶样,原子吸收光谱法连续测定渣样中镁、锰、铅、锌、铜、钾、钠、锂等 8 种低含量金属元素,各元素的相对标准偏差为 0.3%~2.5%,回收率为 97%~102%。石玉蓉^[11]以 HCl-HF-HClO₄ 溶样和除硅,再加混

合熔剂熔融,以稀酸浸取制备试液,通过加入 SrCl₂ 抑制干扰,采用火焰原子吸收光谱法测定粘土中氧化钙和氧化镁含量,样品的回收率为 98%~100%。于玲^[12]等研究了高温炉-超声波熔样法和 X 射线荧光熔片机两种熔样方法,并结合原子吸收光谱法测定了矾土中钾和钠含量,比通常的偏硼酸锂高温溶解-盐酸浸出法更为便捷。赵刚军^[13]探讨了以石墨炉原子吸收光谱法测定铝矾土中微量铅的方法,回收率在 101%~106% 之间,相对标准偏差为 2.6%。徐铁民^[14]建立了涂钼石墨管和镧做基体改进剂的石墨炉原子吸收光谱法,可用于铝矾土中 4% 的二氧化硅分析,实际样品分析结果与重量法和钼蓝法结果相符。苏献瑞^[15]采用氢氧化钠熔融试样,以氯化锶消除基体干扰,采用不加主体干扰元素做介质的校准曲线,在盐酸介质中直接引入原子吸收测定,可应用于铝土矿中 0.03%~2.0% 氧化镁的分析。叶明德^[16]综述了近年来火焰原子吸收光谱法中存在的化学干扰及消除方法的研究进展,评述对各种化学干扰的机理研究及消除方法的探讨。张衍林^[17]报道了以镧或锶溶液作释放剂,用流动注射合并带法使其与试样带混合后注入原子化器,从而消除原子吸收光谱法测定中硅、铝基体对钙镁的干扰。

3 电感耦合等离子体发射光谱法

在中国金属协会的推荐方法^[3]中,对若干种类的硅酸铝质耐火材料,均可采用以盐酸、硝酸、氢氟酸溶解试样,经高氯酸赶酸后,用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)以钇为内标分析不同含量范围的铁、镁、钙、锰、铬、矾、钛、磷、锌。而对于其中氧化钾和氧化钠含量的测定,需先将试样用碳酸锂和硼酸熔融,盐酸浸取制备成溶液,再以锶为内标进行随后的 ICP-AES 分析。表 1 为该推荐方法中被分析元素的种类及含量范围,同常规分析方法比较,表 1 中所示硅酸铝质耐火材料中主、微量元素成分的工作曲线范围和检测下限得到了较大程度的拓展。样品制备上的困难和复杂基体的光谱干扰^[18]是发射光谱法需克服的制约因素。随着样品制备技术的提高,特别是高压密封消解罐^[19]和微波消解技术^[20]的成熟应用,ICP-AES 法作为一种快速的多元素分析方法将会在硅酸铝质耐火材料的微量元素分析应用上发挥更大的作用。

谢华林^[21]采用偏硼酸锂熔珠法熔样,转化为酸性溶液后,以 ICP-AES 法对粘土样品进行全组分

表 1 ICP-AES 法测定元素的含量范围

Tab. 1 Range of contents of analytical elements by ICP-AES

成分 Component	含量范围 Range of content w/%	成分 Component	含量范围 Range of content w/%
Fe	0.01~5	Cr	0.005~1
Al	0.01~5	V	0.005~1
Mg	0.001~5	P	0.005~0.5
Ca	0.001~5	Zn	0.01~1
Mn	0.005~5	K ₂ O	0.01~10
Ti	0.005~5	Na ₂ O	0.01~10

硅、铝、铁、钙、镁、钛、钾、钠的同时分析,实现了一次熔样同时测定常量和微量元素,主量元素硅和铝的检出限分别为 $0.221 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $0.016 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对粘土国家标准样品的参照结果表明,此方法的准确度和精密度均符合规定要求。聂西度^[22]报道了以偏硼酸锂为熔剂,高频熔样-ICP-AES 法同时测定铝土矿中硅、铁、钙、镁、钛、钾、钠,方法的检出限在 $0.005 \sim 0.653 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,结果的相对标准偏差小于 2.63%。对特定种类的硅酸铝耐火原材料,将通常使用的混合熔剂改进为偏硼酸锂,可在等离子体发射光谱仪上实现多组分的同时快速分析。周桂海^[23]运用微波溶样技术溶解硅质耐火材料,利用 ICP-AES 测定其中氧化铁、氧化铝量。刘春晓^[24]研究了以 Trion X-100 为分散剂,试样经超声波分散后在磁力搅拌下动态进样,通过 ICP-AES 测定铝土矿中铁、镁、硅、钙和钛,使用水溶液标准进行校准,不需进行基体匹配,试验结果与溶液进样法一致;该方法无需熔样,最大限度地减少样品处理时间,简化了操作手续。

李立波^[25]建立了一种快速测定高岭土原料中包括硅、铝在内的主微量元素的分析方法,方法的检出限为 $0.005 \sim 0.857 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,精密度小于 4.61%。孙哲平^[26]探讨了以 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 为熔剂高频电感熔样,ICP-AES 法标准加入法测定刚玉中硅和钛。金同顺^[27]以石墨棒加工的石墨坩埚作熔样容器,偏硼酸锂作熔剂,实现了粘土和分子筛高硅类样品中全组分的 ICP-AES 法同时快速分析。韩桂荣^[28]报道了以 ICP-AES 测定以硅酸盐为主的矿物中铝、铁、钙、镁、钾、钠、钛、锰等 8 种元素的简便方法,分析结果与标准参考值相符。阴怀亮^[29]研究了适用于耐火材料分析的 ICP-AES 浓度比法通用公式,并成功应用于高铝粘土质、硅质及其它耐火材料常规样品的分析,获得了良好精密度。

4 X 射线荧光光谱法

虽然我国目前还没有制定出硅酸铝质耐火材料的 X 射线荧光光谱(XRF)国家标准方法,但研究人员参照相应的国内外技术标准^[30-32]和方法^[33-35]建立起若干针对不同性质的硅酸铝质耐火材料的 X 射线荧光分析推荐方法。常见硅酸铝类耐火原材料的 X 射线荧光光谱法的相关文献主要集中在铝土矿^[36-43]、铝矿石^[44-46]、高岭土^[47,48]和矾土^[49]中全部或部分组分的多元分析上。袁汉章等^[50]最早利用基本参数法程序,对理论 α 系数应用于铝硅耐火材料分析进行了探讨和试验,结果表明,采用理论 α 系数法并结合少量标准样品就能取得较好的分析结果;宋霞^[51]等建立了 16 个标准点结合经验系数校正法测定高铝质耐火材料的 X 射线荧光光谱法;金德龙^[52]等阐述了在高铝耐火材料的 X 射线荧光光谱分析中氧化铝的测量不确定度评定问题,通过分析氧化铝测量不确定度的来源,建立相应的数学模型并进行分量评定,最终计算合成标准不确定度和扩展不确定度。这种完整的定量分析报告的建立为耐火材料计量技术的规范化和标准化提供了典型示范。阚斌^[53]等研究了较宽工作曲线范围内铝硅质耐火材料的 X 射线荧光光谱法,采用玻璃熔片法制样,以飞利浦数学模式理论 α 系数校正元素间的吸收-增强效应,主、次量待分析元素的测量精度、准确度和检出限指标能达到规定要求。杨丽荣^[54]等着重探讨了铝硅质耐火材料 X 射线荧光分析中的试验条件对分析结果的影响。梁国立和罗立强^[55]在基本参数法的基础上,结合交互有效法和 PRESS 值的计算,建立起稳定性较好的基体校正模型,以较少标样即实现了铝土矿和粘土中 11 个元素的准确定量。张香荣^[56]等则系统探讨了铝硅质和镁质耐火材料中主、次量元素的 X 射线荧光快速分析方法,采用 23 个标准样品制作校准曲线, JIS 模式理论 α 系数法校正基体的吸收增强效应,标准样品的测定值与标准值非常接近,且具有良好的精密度。曲月华^[57]采用大比例稀释比熔融样品,选取 17 种国家级及行业级标准物质作外标,准确测定了氧化铝含量在 24%~96% 之间的铝质耐火材料中 8 种主微量元素含量,并详细讨论了样品烧失量的校正对分析结果的影响。李国会^[58]等研究了包括铝硅质在内的多种耐火材料 X 射线荧光分析应用,根据分析元素的含量水平分别采用熔融和压片法制

表 2 硅酸铝耐火材料的 X 射线荧光分析

Tab. 2 XRFs for aluminosilicate refractory products

材料类别 Category of material	样品制备 Sample preparation	基体校正方法 Matrix calibration method	文献 Ref.
铝土矿	粉末压片法	定量数学模型	[36]
铝土矿	粉末压片法	分组回归定量模型	[37]
铝土矿	玻璃熔片法	经验系数法	[38]
铝土矿	粉末压片法	经验系数法	[39]
铝土矿	粉末压片法	分组经验系数法	[40]
铝土矿		开发的定量模型	[41]
铝土矿	粉末压片法	经验系数法	[42]
铝土矿	粉末压片法	校正曲线法	[43]
铝矿石	粉末压片法	可变量论 α 影响系数法	[44]
铝矿石	熔片法和压片法	经验 α 系数和散射内标法	[45]
铝矿石赤泥	熔片和压片法	理论 α 系数和散射内标法	[46]
高岭土	粉末压片法	校正曲线法	[47]
高岭土精矿	粉末压片法	校正曲线法	[48]
矾土	玻璃熔片法	可变 α 系数法	[49]
高铝质耐火材料	玻璃熔片法	理论 α 系数法	[50]
高铝质耐火材料	玻璃熔片法	经验系数法	[51]
高铝质耐火材料	玻璃熔片法		[52]
硅铝系耐火材料	玻璃熔片法	理论 α 系数法	[53]
高铝砖和粘土砖	玻璃熔片法	校正曲线法	[54]
铝土矿和粘土	熔融法	特定基体校正模型	[55]
铝硅质和镁质材料	玻璃熔片法	JIS 模式理论 α 系数法	[56]
铝质耐火材料	玻璃熔片法	经验系数法	[57]
多种耐火材料	熔融法或压片法	散射内标法和经验系数法	[58]

样,使用康普顿散射射线作内标和经验系数法校正基体效应,大部分组分的 RSD<5%。近年来硅酸铝质耐火材料 X 射线荧光光谱法见表 2。

在表 2 的硅酸质耐火材料的 X 射线荧光分析应用中,除了为满足试样的快速分析而选择压片法制样外,准确的元素定量通常采用玻璃熔片法,以最大程度地消除试样中粒度效应、粒子偏析、矿物效应以及元素间吸收-增强效应对分析结果的影响。虽然一些荧光光谱实验室仍在使用传统的经验系数法进行基体校正,但明显的趋势是越来越多的荧光光谱实验室已在常规的定量分析中采用理论影响系数法或基本参数法。其优点在于通过 X 射线荧光强度和浓度理论公式的计算,只需少量甚至一个多元校正标样,就能取得与采用许多标准样品的经验系数法等同的分析效果,这给常规的硅酸质耐火材料 X 射线荧光分析带来极大的便利。在基体效应的校正方面,从早期的经验系数法到目前所普遍采用的各种模式理论 α 影响系数和经验系数相结合的数学校正方程^[59-60],带来定量分析准确度和精度的大幅

提高。对微量和痕量元素的测定,采用康普顿散射内标法进行基体吸收效应和背景干扰的校正也取得了满意的分析结果。

5 方法标准化的展望

目前硅酸铝质耐火材料的 X 射线荧光分析国际标准方法采用 ISO 12677-2003 耐火材料 XRF 通用法则,以及各个国家的相对应版本如德国的 DIN EN ISO 12677-2003、英国的 BS EN ISO 12677-2003、俄罗斯的 OENORM EN ISO 12677-2003、日本的 JIS R2116-2003 以及法国的 NF B40-677-2004 等技术标准。这些方法标准从方法的类别、适用范围、原理、试剂或材料、仪器或设备、采样、分析或操作、结果的计算、结果的数据处理等方面都作出了比较详细的要求和相应的说明。最新的可用于替代 XRF 方法的感应耦合等离子体和原子吸收光谱方法标准^[61,62] ISO 2158-2007,以及耐火材料湿法分析的常规要求^[63] 都以国标标准的形式得以分布。

相对于目前国际上比较完备的各类化学分析标准,我国在仪器分析方法,特别是一些先进仪器分析国家标准的制定和实施上存在着差距。主要归结为:(1)缺乏单列的能适用整个硅酸铝质或硅铝系耐火材料的 X 射线荧光分析和离子体发射光谱国家标准方法,一定程度上制约着这些先进、高效的仪器方法在相应的材料行业和部门中的普及应用。现有的国家标准^[64,65]只能覆盖硅酸铝耐火材料中的很少部分材料,缺乏更为完备的硅酸铝类方法标准;相应的方法通则^[66,67]虽然也可以对具体分析起指导作用,但单列标准具有更强的适用性和针对性。(2)现行国家标准中有关定量校正方法的描述还需进一步加强详尽性和完备性。国家标准中包含有基本定量方法的介绍,但在特定校正方法的实施过程方面缺乏比较详细的阐述。在国际标准 ISO 12677-2003 的附录 H 中,不仅列有定量校正方程建立的流程图,还有各种校正原理、方法和校正程序的详尽阐述,包括各校正系数(因子)的实例详解过程;这些都是指引分析人员在细节上正确把握,采取规范性操作步骤极为有效的措施。(3)注意标准定量方法的通用性原则。采用为大家所公认和普遍接受的定量分析理论是解决此类问题的最佳方法。(4)分析结果的验收和确认程序的规范化。目前的国家标准中都列有精密度和准确度的计算方法,只是在如何通过标准(或参考)物质考查各项分析指标的程序描述上不够完备;在方法标准中以支撑材料的形式(如附录),对用于检查的标准物质(SRMs)和用于校正的系列标准参考物质(SeRMs)作适当的说明和导引将有利于结果验收的标准化实施。

另外,在标准方法的执行和实施过程中要加强监督,及时解决与先进仪器相配套的样品前处理设备的购置和人员的培训工作,避免出现有马无鞍尴尬现象的出现,充分挖掘先进仪器的潜能,发挥其高效作用。针对我国目前标准样品不能满足实际需要情况,应充分发挥职能部门的组织协调作用,加强各行业及部门单位的联系,可借鉴日本耐火材料技术协会研制 5 个系列耐火材料鉴别标准物质(JR-RM101~JRRM512)的成功经验^[68],完成我国硅酸铝类耐火材料标准系列物质的研制工作,为我国在硅酸铝质耐火材料标准的制定和实施方面尽快与国际接轨奠定基础。

参考文献:

- [1] GB/T 6901-2004 硅质耐火材料化学分析方法[S].
- [2] GB/T 6900-2006 铝硅系耐火材料化学分析方法[S].
- [3] 王海舟. 耐火材料分析[M]. 北京:科学出版社, 2005.
- [4] 陈世山, 高建国, 王少军, 等. 化学分析计量[J], 2003, 12(5): 8-10.
- [5] 郭红丽, 宋霞, 杜军卫, 等. 耐火材料[J], 2004, 38(5): 357-358.
- [6] 冀哲明. 耐火材料[J], 1996, 30(5): 291-292.
- [7] 王云. 包钢科技[J], 1996, 1: 84-87.
- [8] 陈焱. 检验检疫科学[J], 1999, 9(4): 40-42.
- [9] 王育红, 贾晋莉, 董德凡. 河北地质学院学报[J], 1996, 19(2): 192-196.
- [10] 徐霞. 山东冶金[J], 1999, 21(增刊): 133-134.
- [11] 石玉蓉. 江西冶金[J], 1998, 18(1): 43-44.
- [12] 于玲, 胡晓静, 常丽, 等. 大连轻工业学院学报[J], 1999, 18(2): 153-156.
- [13] 赵刚军. 理化检验-化学分册[J], 1995, 31(2): 113-113.
- [14] 徐铁民. 岩矿测试[J], 1996, 15(4): 290-292.
- [15] 苏献瑞, 赵莎莉. 光谱实验室[J], 1998, 15(4): 98-100.
- [16] 叶明德, 王曙红, 周绍荣. 理化检验-化学分册[J], 2000, 36(9): 429-430, 432.
- [17] 张衍林. 理化检验-化学分册[J], 1998, 34(1): 28-29, 30.
- [18] 杨祥, 金泽祥. 岩矿测试[J], 2000, 19(1): 32-41.
- [19] 杨延, 周小力. 光谱学和光谱分析[J], 2001, 21(6): 886-888.
- [20] 但得忠. 分析测试中的现代微波制样技术[M]. 成都: 四川大学出版社, 2003.
- [21] 谢华林, 文海初. 中国陶瓷工业[J], 2004, 11(2): 33-35.
- [22] 聂西度, 李立波. 金属矿山[J], 2006, 9: 55-56.
- [23] 周桂海. 梅山科技[J], 2005, 3: 22-23.
- [24] 刘春晓, 刘英, 臧慕文. 分析实验室[J], 2004, 23(3): 34-36.
- [25] 李立波, 潘春跃, 刘宏伟. 化工时刊[J], 2006, 20(7): 39-41.
- [26] 孙哲平. 岩矿测试[J], 2005, 24(2): 154-156.
- [27] 金同顺, 王甲亮, 李魁清. 南京师大学报: 自然科学版[J], 2002, 25(3): 79-81.
- [28] 韩桂荣, 刘志新, 张钧, 等. 精细化工中间体[J], 2002, 32(4): 56-58.
- [29] 阴怀亮, 黄少平, 郭秋虹. 岩矿测试[J], 1990, 9(2): 110-114.
- [30] ISO9516: 1992(E) Iron ores-Wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometric method[S].
- [31] ISO12677-2003 Chemical analysis of refractory

- products by XRF-Fused cast bead method[S].
- [32] Australian Standard 2564—1982 Aluminium ores—Determination of aluminium, silicon, iron, titanium and phosphorus contents—wavelength dispersive X-ray fluorescence Spectrometric method[S].
- [33] 袁汉章,刘洋,秦颖. 分析化学[J], 1990,18(5):451-453.
- [34] 陶光仪,张中义,吉昂. 光谱学和光谱分析[J], 1994,14(6):113-116.
- [35] 李国会,卜维,樊守忠. 光谱学和光谱分析[J], 1994,14(1):105-110.
- [36] 周科,王新亮. 轻金属[J], 2002,2:26-28.
- [37] 陈汉城,任振科,田寅贞. 轻金属[J], 2003,2:9-17.
- [38] 王云霞,张健,庞玲,等. 理化检验-化学分册[J], 2006,42(7):542-543.
- [39] 邓赛文,梁国立,方明渭,等. 岩矿测试[J], 2001,20(4):305-308.
- [40] 赵宝山. 有色矿山[J], 2002,31(2):12-13.
- [41] 陈致芬,邹恩滕,林星明,等. 核技术[J], 1995,18(4):216-219.
- [42] 丁库克,邹恩滕,陈致芬,等. 矿冶[J], 1996,5(2):82-86.
- [43] 陆军辉. 有色金属分析[J], 2004,128(2):11-13.
- [44] 王晓雯. 铝镁通讯[J], 2004,(4):33-35.
- [45] 张爱芬,马慧侠,李国会. 岩矿测试[J], 2005,24(4):307-310.
- [46] 张爱芬. 轻金属[J], 2005,10:29-32.
- [47] 王刚. 石化技术与应用[J], 2003,21(6):441-443.
- [48] 包生祥. 分析化学[J], 1996,24:619-619.
- [49] 丁仕兵,刘稚,刘淑珍. 冶金分析[J], 2003,23(4):21-23.
- [50] 袁汉章,刘洋,秦颖,等. 光谱学与光谱分析[J], 1990,10(4):42-45.
- [51] 宋霞,王静. 建材发展导向[J], 2005,1(增刊):69-70.
- [52] 金德龙,王承忠,陆晓明,等. 冶金分析[J], 2005,25(3):88-92.
- [53] 阚斌,赵惠君,李良骅. 冶金分析[J], 1998,18(5):35-38.
- [54] 杨丽荣,李秋菊,曲月华. 鞍钢技术[J], 2001,2:31-32.
- [55] 梁国立,罗立强. 地质实验室[J], 1995,11(3):153-156.
- [56] 张香荣,陈洁,张立新. 冶金分析[J], 2005,25(1):15-18.
- [57] 曲月华,王翠艳. 冶金分析[J], 2006,26(4):36-39.
- [58] 李国会,徐国令,李晓莉. 岩矿测试[J], 2003,22(3):217-220,224.
- [59] 谢忠信,赵宗玲,张玉斌. X射线光谱分析[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [60] 吉昂,陶光仪,卓尚军,等. X射线荧光光谱分析[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [61] ISO 21587—1:2007 Chemical analysis of aluminosilicate refractory products (alternative to the X-ray fluorescence method)—Part 1: Apparatus, reagents, dissolution and gravimetric silica[S].
- [62] ISO 21587—3 Chemical analysis of aluminosilicate refractory products (alternative to the X-ray fluorescence method)—Part 3: Inductively coupled plasma and atomic absorption spectrometry methods[S].
- [63] ISO 26845 Chemical analysis of refractories—General requirements for wet chemical analysis, atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma methods[S].
- [64] GB/T 14506.28—1993 硅酸盐岩石化学分析方法 X射线荧光光谱法测定主、次元素量[S].
- [65] GB/T 9489.2—1988 刚玉粉中氧化钙、氧化镁、二氧化硅、三氧化二铁、二氧化钛的电感耦合高频等离子体发射光谱法测定[S].
- [66] GB/T 16597—1996 冶金产品分析方法 X射线荧光光谱法通则[S].
- [67] GB 10725 电感耦合高频等离子体原子发射光谱法通则[S].
- [68] 崔学正. 国外耐火材料[J], 1995,3:30-39.

(上接第 888 页)

参考文献:

- [1] 陈青川,于文莲,王静. 高效液相色谱法同时测定多种食品添加剂[J]. 色谱, 2001,19(2):105-108.
- [2] 罗晓燕,刘莉治,李晓东,等. HPLC法测定月饼中的脱氢乙酸钠[J]. 中国卫生检验杂志, 2003,13(3):301-302.
- [3]. GB/T 5009.28—2003 食品中精钠的测定[S].
- [4] GB/T 5009.29—2003 食品中苯甲酸、山梨酸的测定[S].
- [5] GB/T 5009.121—2003 食品中脱氢乙酸的测定[S].
- [6] GB/T 5009.140—2003 饮料中乙酰磺胺酸钾的测定[S].

硅酸铝耐火材料成分的仪器分析方法进展

作者: [徐鸿志](#), [陈志伟](#), [XU Hong-zhi](#), [CHEN Zhi-wei](#)
作者单位: [山东理工大学, 分析测试中心, 淄博, 255049](#)
刊名: [理化检验-化学分册](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [PHYSICAL TESTING AND CHEMICAL ANALYSIS PART B:CHEMICAL ANALYSIS](#)
年, 卷(期): 2007, 43(10)

参考文献(68条)

1. [GB/T 6901-2004. 硅质耐火材料化学分析方法](#)
2. [GB/T 6900-2006. 铝硅系耐火材料化学分析方法](#)
3. [王海舟. 耐火材料分析](#) 2005
4. [陈世山;高建国;王少军. 分光光度法同时测定铝质耐火材料中的铁和钛](#)[期刊论文]-[化学分析计量](#) 2003(05)
5. [郭红丽;宋霞;杜军卫. 高铝质耐火材料中SiO₂的解聚-钼蓝光度法测定](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2004(05)
6. [冀哲明. 查看详情](#) 1996(05)
7. [王云. 查看详情](#) 1996(01)
8. [陈焱. 查看详情](#) 1999(04)
9. [王育红;贾晋莉;董德凡. 查看详情](#) 1996(02)
10. [徐霞. 查看详情](#) 1999(zk)
11. [石玉蓉. 查看详情](#) 1998(01)
12. [于玲;胡晓静;常丽. 查看详情](#)[期刊论文]-[大连轻工业学院学报](#) 1999(02)
13. [赵刚军. 查看详情](#) 1995(02)
14. [徐铁民. 查看详情](#)[期刊论文]-[岩矿测试](#) 1996(04)
15. [苏献瑞;赵莎莉. 原子吸收光谱法分析铝土矿中氧化镁](#)[期刊论文]-[光谱实验室](#) 1998(04)
16. [叶明德;王曙红;周绍荣. 火焰原子吸收光谱法化学干扰研究的新进展](#)[期刊论文]-[理化检验-化学分册](#) 2000(09)
17. [张衍林. 查看详情](#) 1998(01)
18. [杨祥;金泽祥. 电感耦合等离子体原子发射光谱的若干进展](#)[期刊论文]-[岩矿测试](#) 2000(01)
19. [杨延;周小力. 高压密封消化罐在光谱分析样品前处理中的应用](#)[期刊论文]-[光谱学与光谱分析](#) 2001(06)
20. [但得忠. 分析测试中的现代微波制样技术](#) 2003
21. [谢华林;文海初. ICP-AES法同时测定粘土质全组元素的研究](#)[期刊论文]-[中国陶瓷工业](#) 2004(02)
22. [聂西度;李立波. 铝土矿中杂质元素的ICP-AES分析研究](#)[期刊论文]-[金属矿山](#) 2006(09)
23. [周桂海. 查看详情](#)[期刊论文]-[梅山科技](#) 2005(03)
24. [刘春晓;刘英;臧慕文. 悬浮液进样ICP-AES测定铝土矿中的铁、镁、硅、钙和钛](#)[期刊论文]-[分析实验室](#) 2004(03)
25. [李立波;潘春跃;刘宏伟. 催化原料高岭土的发射光谱分析](#)[期刊论文]-[化工时刊](#) 2006(07)
26. [孙哲平. 高频熔样等离子体发射光谱标准加入法测定刚玉中硅钛](#)[期刊论文]-[岩矿测试](#) 2005(02)
27. [金同顺;王甲亮;李魁清. 粘土和分子筛高硅类样品的ICP全组分同时分析](#)[期刊论文]-[南京师大学报\(自然科学版\)](#) 2002(03)
28. [韩桂荣;刘志新;张钧. ICP-AES测定以硅酸盐为主的矿物中Al、Fe、Ca、Mg、K、Na、Ti、Mn等元素的方法](#)[期刊论文]-[精细化工中间体](#) 2002(04)
29. [阴怀亮;黄少平;郭秋虹. 查看详情](#)[期刊论文]-[岩矿测试](#) 1990(02)

30. [ISO 9516-1992. \(E\) Iron ores-Wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometric method](#)
31. [ISO 12677-2003. Chemical analysis of refractory products by XRF-Fused cast bead method](#)
32. [Australian Standard 2564-1982. Aluminium ores Determination of aluminium, silicon, iron, titanium and phosphorus contents-wavelength dispersive X-ray fluorescence Spectrometric method](#)
33. [袁汉章;刘洋;秦颖 查看详情](#) 1990(05)
34. [陶光仪;张中义;吉昂 查看详情](#) 1994(06)
35. [李国会;卜维;樊守忠 查看详情](#) 1994(01)
36. [周科;王新亮 X-射线荧光分析仪在铝土矿石分析中的应用](#)[期刊论文]-[轻金属](#) 2002(02)
37. [陈汉城;任振科;田寅贞 3070型XRF仪快速分析铝土矿的方法研究及应用](#)[期刊论文]-[轻金属](#) 2003(02)
38. [王云霞;张健;庞玲 X射线荧光光谱法测定铝土矿中的主成分](#)[期刊论文]-[理化检验-化学分册](#) 2006(07)
39. [邓赛文;梁国立;方明渭 X射线荧光光谱快速分析铝土矿的方法研究](#)[期刊论文]-[岩矿测试](#) 2001(04)
40. [赵宝山 X射线荧光光谱仪在铝土矿分析中的应用](#)[期刊论文]-[有色矿山](#) 2002(02)
41. [陈致芬;邹恩滕;林星明 查看详情](#) 1995(04)
42. [丁库克;邹恩滕;陈致芬 查看详情](#)[期刊论文]-[矿冶](#) 1996(02)
43. [陆军辉 查看详情](#) 2004(02)
44. [王晓雯 查看详情](#) 2004(04)
45. [张爱芬;马慧侠;李国会 X射线荧光光谱法测定铝矿石中主次痕量组分](#)[期刊论文]-[岩矿测试](#) 2005(04)
46. [张爱芬 X射线荧光光谱在铝矿石赤泥组分分析中的应用](#)[期刊论文]-[轻金属](#) 2005(10)
47. [王刚 XRF法测定高岭土中的主次量元素](#)[期刊论文]-[石化技术与应用](#) 2003(06)
48. [包生祥 查看详情](#) 1996
49. [丁仕兵;刘稚;刘淑珍 X射线荧光光谱法测定矾土中硅、铁、钾、钙、钛、锰、铝、镁、磷等氧化物含量](#)[期刊论文]-[冶金分析](#) 2003(04)
50. [袁汉章;刘洋;秦颖 查看详情](#) 1990(04)
51. [宋霞;王静 X射线荧光光谱法测定高铝质耐火材料](#)[期刊论文]-[建材发展导向](#) 2005(zk)
52. [金德龙;王承忠;陆晓明 X射线荧光光谱法测定高铝耐火材料中氧化铝的测量不确定度评定](#)[期刊论文]-[冶金分析](#) 2005(03)
53. [阚斌;赵惠君;李良骅 查看详情](#) 1998(05)
54. [杨丽荣;李秋菊;曲月华 铝硅质耐火材料的XRF分析法](#)[期刊论文]-[鞍钢技术](#) 2001(02)
55. [梁国立;罗立强 查看详情](#) 1995(03)
56. [张香荣;陈洁;张立新 铝质、硅质和镁质耐火材料的X射线荧光光谱快速分析](#)[期刊论文]-[冶金分析](#) 2005(01)
57. [曲月华;王翠艳 X-射线荧光光谱法测定铝质耐火材料中主次成分](#)[期刊论文]-[冶金分析](#) 2006(04)
58. [李国会;徐国令;李晓莉 X射线荧光光谱法在耐火材料成分分析中的应用](#)[期刊论文]-[岩矿测试](#) 2003(03)
59. [谢忠信;赵宗玲;张玉斌 X射线光谱分析](#) 1982
60. [吉昂;陶光仪;卓尚军 X射线荧光光谱?](#) 2003
61. [ISO 21587-1-2007. Chemical analysis of aluminosilicate refractory products \(alternative to the X-ray fluorescence method\)-Part 1:Apparatus, reagents, dissolution and gravimetric silica](#)
62. [ISO 21587-3. Chemical analysis of aluminosilicate refractory products \(alternative to the X-ray fluorescence method\)-Part 3:Inductively coupled plasma and atomic absorption spectrometry methods](#)

63. [ISO 26845. Chemical analysis of refractories-General requirements for wet chemical analysis, atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma methods](#)
64. [GB/T 14506. 28-1993. 硅酸盐岩石化学分析方法X射线荧光光谱法测定主、次元素量](#)
65. [GB/T 9489. 2-1988. 刚玉粉中氧化钙、氧化镁、二氧化硅、三氧化二铁、二氧化钛的电感耦合高频等离子体发射光谱法测定](#)
66. [GB/T 16597-1996. 冶金产品分析方法X射线荧光光谱法通则](#)
67. [GB 10725. 电感耦合高频等离子体原子发射光谱法通则](#)
68. [崔学正 查看详情](#) 1995 (03)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_lhgy-hx200710037.aspx