

# X 射线荧光光谱技术在铬铁矿石分析中的应用文献评介

李 松, 邓赛文, 王毅民\*, 王祎亚, 刘 阳, 陶 迪

(国家地质实验测试中心, 北京 100037)

**摘 要:** 当今 X 射线荧光光谱(XRF)已成为铬铁矿石分析最重要的方法之一。作者收集了 1998—2018 年间我国 X 射线荧光技术分析铬铁矿石的期刊文献共计 18 篇, 其中 13 篇采用熔融制样方法, 5 篇采用粉末压片制样方法。文章介绍了我国铬铁矿分析概况, 用列表方式对 18 篇期刊文献简介了方法要点, 对其中较典型、有代表性的文献按制样方法进行了重点评介, 最后讨论了 XRF 分析地质材料时的制样方法选取、样品粒度和矿物效应的影响、铬铁矿 X 射线荧光光谱分析方法的未来发展趋势等问题。全篇共引文 60 篇。

**关键词:** X 射线荧光光谱(XRF); 铬铁矿石; 熔融制样; 粉末压片; 评介

**中图分类号:** O657.34; TF03<sup>+</sup>3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7571(2019)08-0067-09

铬是地壳中分布较广的元素之一, 约占 0.01%, 居第 17 位<sup>[1]</sup>。自然界含铬的矿物约有 30 种, 但具有可开采价值的只有铬铁矿。在工业上, 常把铬铁、铬尖晶石、富铬尖晶石、硬铬尖晶石等类似矿物, 统称为铬铁矿<sup>[2]</sup>, 其化学通式为 (Fe, Mg)O (Cr, Al, Fe)<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>[3]</sup>。铬铁矿属于高铬、高铁样品, 广泛应用于冶金工业, 用来生产铬铁合金、不锈钢和各种耐热钢, 是我国急缺的战略矿产之一<sup>[4-9]</sup>。铬铁矿化学组分复杂, 主要含有三氧化二铬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、氧化镁(MgO)、二氧化硅(SiO<sub>2</sub>)、氧化亚铁(FeO)、三氧化二铁(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)以及少量的氧化钙(CaO)、硫(S)、磷(P)等<sup>[10]</sup>。铬铁矿石成分分析是其开发利用各环节必不可少的技术手段, 其中 Cr、Fe、Si 或其氧化物是铬铁矿测试项目中的关键技术指标。

铬铁矿归类于强酸性氧化物, 硬度大, 是较难分析的复杂矿物。传统的铬铁矿石分析方法采用化学分析法, 分析步骤悠长, 个人偶然误差较大<sup>[11]</sup>。X 射线荧光光谱(XRF)具有制样方法简单、分析速度快、重现性好、环保, 可进行主次量元素同时分析等特点, 在各类岩石、矿石分析中得到了广泛应用<sup>[12-15]</sup>。本文收集了 1998—2018 年间应用 XRF 进行铬铁矿分析研究的技术与方法文献共计 18 篇。作者对有关文献进行了评介, 对制样方法选择等问

题进行了讨论, 也对相关论文发表提出了建议。

## 1 铬铁矿石分析概况

在各类矿石分析中, 铬铁矿石分析是发展较早、较成熟的。经我国岩矿测试工作者的多年努力, 特别是 20 世纪 60 年代以后的大量实践, 在铬铁矿石分析方面积累了丰富的经验, 取得了许多重要成果。

### 1.1 专著出版

原西北地质科学研究所 1977 年编写并出版的《铬铁矿石分析》一书, 这是我国铬铁矿石分析的重要成果。该书全文共 12 章, 内容丰富, 不仅较全面地介绍了铬铁矿石的分析方法, 还研究介绍了超基性岩、单矿物、铂族元素的分析方法<sup>[16]</sup>。需要指出, 该书中所介绍的分析方法基本上是化学湿法, 只在最后一章介绍了光谱分析方法, 虽然没有涉及 XRF 分析的有关内容, 但对了解铬铁矿分析的基本知识具有重要参考价值。

原地质部矿物原料研究所和《岩石矿物分析》编写组分别在各岩石矿物分析综合性专著中均有铬铁矿石测试分析相关介绍的章节<sup>[17-20]</sup>。

### 1.2 标准物质研制

1975 年, 原西北地质科学研究所受中国地质科学院委托, 与原地质部、冶金部等 17 个单位经过 4

收稿日期: 2019-03-26

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项(2012YQ050076)

作者简介: 李 松(1978—), 男, 高级工程师, 大学本科, 主要从事仪器分析技术研究; E-mail: ccagvip@163.com

\* 通讯联系人: 王毅民(1941—), 男, 研究员, 大学本科, 主要从事地质分析技术研究; E-mail: wym7852@126.com

年的努力,于1979年研制完成了两个超基性岩(DZS-1,2)和两个铬铁矿(DZCr-1,2)(GBW07201-07202)标准物质。这是我国首批地质标准物质,不仅是铬铁矿石分析的重要成果,对我国地质标准物质的发展也产生了重要影响<sup>[21-22]</sup>。该批标准物质样品粒度达-200目(74 μm),这不仅成为我国标准物质的粒度标准,也奠定了我国地质分析样品粒度的基础,影响尤其深远。DZS-1,2定值组分59个,标准值50个(包括6个铂族元素和全部稀土元素);DZCr-1,2定值组分25个,标准值23个(包括6个铂族元素)。该批标准物质加工程序严密、测试定值工作组织了全国最有经验的单位和人员,是一次攻关大会战,为我国研制铬铁矿有关地质标准物质及其分析方法研究打下了坚实基础。凌进中<sup>[23]</sup>对上述成果进行了评介。

2010年,为满足我国铬铁矿勘查与国际贸易的需要,中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所选取我国主要的铬铁矿产地(包括西藏、青海、内蒙)的铬矿石,成功研制了新的4个铬铁矿标准物质(GCr1-4)(GBW07818~07821),在含量设计上兼顾了铬铁矿石的边界品位、工业品位和富矿矿石等含量特征,大大扩大了各主次要元素的含量范围,可满足铬铁矿勘查与国际贸易中对样品测试仪器校正、方法验证等不同用途的需要<sup>[24]</sup>。该系列铬铁矿标准物质样品粒度-200目(74 μm),并采用了高精度的XRF检验了Cr、Mn、Ni、V、Fe、Ca的均匀性,定值项目18项,其中16项成分给出标准值。

标准物质不仅提供了高质量的校准标准,也成为分析方法评价和分析结果质量检验最重要的依据。同时,标准物质多实验室合作分析定值的过程也大大推动了分析技术的发展。

### 1.3 标准分析方法的制定

2002年商检系统率先制定了行业标准SN/T 1118—2002《铬矿中铬、硅、铁、铝、镁、钙的测定 波长色散X射线荧光光谱法》,采用了六偏磷酸钠[(NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]-偏硼酸锂(LiBO<sub>2</sub>)混合熔剂熔融制样。2009年由宁波检验检疫科学技术研究院等单位起草制定了国家标准GB/T 24231—2009《铬矿石 镁、铝、硅、钙、钛、钒、铬、锰、铁和镍含量的测定 波长色散X射线荧光光谱法》,也采用六偏磷酸钠[(NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]-偏硼酸锂(LiBO<sub>2</sub>)混合熔剂熔融制样<sup>[25-26]</sup>。这些标准方法的形成与制定也是铬铁矿分析发展的重要成果。

## 2 XRF在铬铁矿分析中的应用文献评介

文献表明,随着XRF仪器和分析技术的发展,XRF已成为铬铁矿石分析的重要方法。本文收集1998—2018年间XRF分析铬铁矿石的期刊文献18篇,其中熔融制样方法文献13篇,直接粉末压片制样方法文献5篇。现将文献方法要点列于表1<sup>[27-44]</sup>,主要包括:样品类型、作者和年代、工作所用仪器、制样方法(粉末压片制样列出样品粒度,熔融制样列出熔剂和稀释比)、所用校准样品和基体校正

表1 XRF在我国铬铁矿石分析中的应用文献

Table 1 Application literature of XRF in chromite analysis in China

项目 Item	文献序号 Reference number	作者/年 Author/ Year	仪器 Instrument	压片制样:粒度;熔融 制样:熔剂,稀释比 Pressed pellets: particle size; Fused; solvent, dilution ratio	标准样品/ 基体校正 Standard sample/ Matrix correction	测定组分(个数) Component name (number)	主要组分精度 (相对标准偏差)* Main component accuracy (RSD)	引文数量 Number of citations
熔融 制样	[27]	李国会/ 1999	日本理学 3080 E2	$m(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7) :$ $m(\text{LiBO}_2) = 4.5 : 1$ 混合熔剂熔融, 稀释比 1 : 40	国标 2 个,合成监 控样 8 个;理论 $\alpha$ 系数及康普顿散 射内标	Na <sub>2</sub> O, MgO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , S, K <sub>2</sub> O, CaO, TiO <sub>2</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MnO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NiO, 烧失量(14)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 46.62(0.22); Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 15.30(0.20); SiO <sub>2</sub> : 5.15(0.22)	3
	[28]	陈新等/ 2000	日本理学 3371E	250 目(57 μm)粉末; Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> 熔融, 稀释比 1 : 10	国标 2 个,合成监 控样 4 个;理论 T 系数和经验系数	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MgO, TiO <sub>2</sub> (7)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 22.07(2.35); Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 12.25(0.85); SiO <sub>2</sub> : 1.08(2.50)	4
	[29]	吴秀兰等/ 2004	飞利浦 PW 1404, 美国热电 ARL 9000	$m(\text{LiBO}_2) : m(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7)$ (或 Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) = 2.8 : 5 混合熔剂熔融, 稀释比 1 : 100	高纯氧化物, 高倍稀释熔融	WO <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)		3
	[30]	谷松海等/ 2008	德国布 鲁克 S4	高氯酸处理、 $m(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7) : m(\text{LiBO}_2) =$ 12 : 22 混合熔剂熔融, 稀释比 1 : 50	合成监控样 17 个;可变 $\alpha$ 系数	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MgO, P, S, V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (9)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 40.61(0.16); Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 13.68(0.30); SiO <sub>2</sub> : 11.14(0.51)	10

续表 1

项目 Item	文献序号 Reference number	作者/年 Author/ Year	仪器 Instrument	压片制样; 粒度; 熔融 制样; 熔剂, 稀释比 Pressed pellets; particle size; Fused; solvent, dilution ratio	标准样品/ 基体校正 Standard sample/ Matrix correction	测定组分(个数) Component name (number)	主要组分精度 (相对标准偏差)* Main component accuracy (RSD)	引文数量 Number of citations	
熔融 制样	[31]	李小莉等/ 2010	荷兰帕 纳科 Axios	$m(\text{NaHPO}_3) :$ $m(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 4.5 : 1.5$ 混合熔剂熔融, 稀释比 1 : 20	国标 7 个, 合 成监控样 4 个; 理论 $\alpha$ 系数	$\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2,$ $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{TFe}, \text{MgO},$ $\text{CaO}, \text{MnO}(7)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 : 50.87(0.217);$ $\text{TFe} : 12.57(0.277);$ $\text{SiO}_2 : 3.56(1.046)$	5	
	[32]	郭建斌等/ 2013	日本理学 ZSX Primus II	$m(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7) : m(\text{LiBO}_2) :$ $m(\text{LiF}) = 4.5 : 1 : 0.4$ 混合 熔剂熔融, 稀释比 1 : 20	一级标样 4 个, 二级标样 2 个, 合成监控样 10 个; 理论 $\alpha$ 系数	$\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{TFe}, \text{SiO}_2,$ $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO},$ $\text{MgO}, \text{TiO}_2,$ $\text{P}_2\text{O}_5, \text{MnO}, \text{S}(10)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 : 54.58(3.01);$ $\text{TFe} : 10.30(4.28);$ $\text{SiO}_2 : 4.75(2.85)$	14	
	[33]	曾江萍等/ 2013	荷兰帕 纳科 Axios	$m(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7) : m(\text{LiBO}_2) =$ 1 : 1 混合熔剂熔融, 稀释比 1 : 20	国标 11 个, 合成监控样 4 个; 理论 $\alpha$ 系数	$\text{Cr}, \text{TFe}, \text{Si},$ $\text{Al}, \text{Ca}, \text{Mg},$ $\text{Mn}(7)$	$\text{Cr} : 34.81(0.2);$ $\text{TFe} : 12.59(0.3);$ $\text{Si} : 1.64(1.1)$	18	
	[34]	刘怀丽等/ 2014	荷兰帕 纳科 Axios	三聚磷酸钠熔融, 稀释比 1 : 10	合成监控样 7 个; 经验系数与 基本参数相结合	$\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3,$ $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO},$ $\text{MgO}, \text{P}, \text{S}(8)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 : 46.60(0.10);$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 : 29.39(0.01);$ $\text{SiO}_2 : 1.62(0.99)$	1	
	[35]	朱忠平等/ 2014	荷兰帕 纳科 Axios mAX	$m(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7) : m(\text{LiBO}_2) =$ 67 : 33 混合熔剂熔融, 稀释比 1 : 24	国标 18 个; 理论 $\alpha$ 系数及 散射内标	$\text{Cr}, \text{Si}, \text{Al}, \text{Fe},$ $\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{K},$ $\text{S}, \text{P}, \text{Ti}, \text{Mn},$ $\text{V}(13)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 : 13.86(0.5);$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 : 8.04(0.6);$ $\text{SiO}_2 : 11.54(0.8)$	15	
	[36]	徐志彬等/ 2015	德国 布鲁克 S4	$m(\text{LiBO}_2) : m(\text{NaNO}_3) =$ 3 : 1 混合熔剂熔融, 稀释比 0.6 : 8	合成监控样 15 个; 可变 $\alpha$ 系数	$\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Si},$ $\text{Al}, \text{P}(5)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 : 49.34(0.43);$ $\text{Fe} : 16.35(0.62);$ $\text{SiO}_2 : 4.08(0.53)$	13	
	[37]	李晓桂等/ 2016	日本理学 ZSX Primus II	$m((\text{NaPO}_3)_6) :$ $m(\text{LiBO}_2) = 6 : 2$ 混合熔剂熔融, 稀释比 1 : 20	国标 5 个; 理论 $\alpha$ 系数	$\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Si},$ $\text{Al}, \text{Ca}, \text{Mg}(6)$	$\text{Cr} : 31.71(0.043);$ $\text{Fe} : 11.46(0.102);$ $\text{Si} : 3.37(0.095)$	6	
	[38]	王智鹏等/ 2016	荷兰帕 纳科 Axios	$m((\text{NaPO}_3)_6) :$ $m(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 4 : 2$ 混合 熔剂熔融, 稀释比 1 : 12	合成监控样 5 个; 理论 $\alpha$ 系数	$\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3,$ $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3,$ $\text{MgO}(5)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 ** (1.59);$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 ** (1.01);$ $\text{SiO}_2 ** (1.94)$	9	
	[39]	田琼等/ 2017	日本理学 ZSX Primus II	$m(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7) : m(\text{LiBO}_2) =$ 66 : 33 混合熔剂熔融, 稀释比 1 : 20	国标 10 个, 合成 监控样 6 个; 理论 $\alpha$ 系数和经验 系数相结合	$\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Fe}, \text{SiO}_2,$ $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{MgO},$ $\text{K}_2\text{O}, \text{P}, \text{S}, \text{Ni}, \text{Co},$ $\text{Ti}, \text{Mn}, \text{V}(14)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 : 34.37(0.096);$ $\text{Fe} : 8.04(0.11);$ $\text{SiO}_2 : 12.09(0.16)$	13	
	[40]	铁生年等/ 1998	德国西 门子 VxQ-150A	120 目(125 $\mu\text{m}$ ) 粉末压片	合成监控样 6 个; 经验系数法	$\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Fe},$ $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3,$ $\text{CaO}, \text{MgO}(6)$	结果与化学值 的偏差在 $\pm 0.2\%$ 之间	0	
	[41]	张乔等/ 2002	日本理学 3080E3	300 目(48 $\mu\text{m}$ ) 粉末压片	内控样品 10 个 以上; 理论 $\alpha$ 系数	$\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{TFe},$ $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3,$ $\text{CaO}, \text{MgO}(6)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 : 44.34(0.17);$ $\text{TFe} : 9.77(0.68);$ $\text{SiO}_2 : 9.25(0.71)$	10	
	直接 压片 制样	[42]	刘江斌/ 2013	日本理学 ZSX Primus II	200 目(74 $\mu\text{m}$ ) 粉末压片	一级标样 50 个以上, 二级标样 9 个; 经验系数 和散射内标	$\text{Cu}, \text{Pb}, \text{Zn},$ $\text{S}, \text{As}, \text{W},$ $\text{Mo}(7)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 : 44.34(0.17);$ $\text{TFe} : 9.77(0.68);$ $\text{SiO}_2 : 9.25(0.71)$	8
	[43]	曾江萍等/ 2015	荷兰帕 纳科 Axios	超细加工, 10 $\mu\text{m}$ 粉末压片	国标 11 个, 合成 监控样 4 个; 经验系数 和散射内标	$\text{Cr}, \text{TFe}, \text{Si},$ $\text{Al}, \text{Ca}, \text{Mg}, \text{S},$ $\text{Co}, \text{Ni}, \text{V}(10)$	$\text{Cr} : 31.84(0.26);$ $\text{TFe} : 10.62(1.35);$ $\text{Si} : 2.31(0.63)$	21	
[44]	卜兆杰等/ 2017	荷兰帕 纳科 PW4400	200 目(74 $\mu\text{m}$ ), $m(\text{样品}) : m(\text{添加剂}) =$ 4 : 1, 粉末压片	国标 2 个, 合成 监控样 5 个; 综合 数学校正公式	$\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3,$ $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3,$ $\text{CaO}, \text{MgO}(6)$	$\text{Cr}_2\text{O}_3 : 46.36(1.3);$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 : 15.44(0.52);$ $\text{SiO}_2 : 5.08(0.89)$	4		

注: \* 括号内数值为相对标准偏差(RSD/%), 括号外数值为含量值, %; \*\* 组分未在原文查询到相关浓度。

方法、测定组分、方法对主要组分的测量精度和文章的引文数量等。

## 2.1 熔融制样方法文献评介

表 1 所列 13 篇熔融制样方法中有 9 篇采用硼

酸盐熔融, 3 篇采用了以硼酸盐、磷酸盐为主的混合熔剂, 1 篇采用三聚磷酸钠熔融制样, 都得到了较好的结果。

李国会<sup>[27]</sup>最早报道了以硼酸盐混合熔剂熔融制

样测定铬铁矿石主次组分的 XRF 方法, 采用了高倍稀释熔融, 特别是以高质量的铬铁矿、超基性岩国家标准物质和由此加配的人工标样形成的校准样品系列, 对铬铁矿中 Na、Mg、Al、Si、P、S、K、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe、Ni 等 13 种主、次量元素进行测定, 获得了高质量的分析结果, 并进行了全分析加合检验, 从而使该方法完全可以参与标准物质定值分析和仲裁检验。其后郭建斌<sup>[32]</sup>、曾江萍<sup>[33]</sup>、朱忠平<sup>[35]</sup>、田琼<sup>[39]</sup>等也采用硼酸盐混合熔剂熔融制样, 分别对铬铁矿中的 10、7、13 和 14 个主、次量组分进行了测试, 大多也获得较好分析结果, 特别是后两者对于日常分析更具代表性意义。

文献中, 李小莉<sup>[31]</sup>、李晓桂<sup>[37]</sup>、王智鹏<sup>[38]</sup>等采用硼酸盐、磷酸盐混合熔剂熔融的方法也得到较好分析结果, 只是这些方法与 2009 年制定的国家标准方法相比测定组分较少。李小莉等重点研究了用不同熔剂在小稀释比例下熔融制样的方法以及样品脱模、成形问题; 李晓桂等采用熔融制片方式选取标准样品建立校准曲线, 并对元素间的干扰效应进行校正; 王智鹏等采用硼酸盐、磷酸盐混合熔剂, 以较低稀释比研究了物料组成、灼烧变量、熔融制样温度、时间、脱模剂等对熔融制样及后续光谱分析的影响。

刘怀丽<sup>[34]</sup>等采用了对铬铁矿石熔融性能更好的三聚磷酸钠作熔剂, 并采用铬矿砂标准样品作为基准物质, 以纯  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  等氧化物与基材混合配制合成标准样品, 以 1:10 的稀释比, 也获得了相当好的结果。

## 2.2 直接粉末压片制样方法文献评介

表 1 所列文献中有 5 篇采用粉末压片制样, 但各方法所用样品的粒度有较大差异。

西宁钢铁集团公司铁生年<sup>[40]</sup>等采用粉末压片制样测定了铬铁矿石样品中的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、Fe、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、CaO、MgO 等 6 个组分。其中, 1% 以上的 5 个组分的测定结果与化学湿法的偏差在  $\pm 0.2\%$  之间。值得说明的是, 对于  $0.x\%$  的 CaO 在  $\pm 0.01\%$  之间, 该工作的样品粒度只有 120 目 ( $125\mu\text{m}$ )。在这样的样品粒度条件下, 分析结果能达到这样高的精度和正确度是很值得关注的。这是最早的铬铁矿石 XRF 分析文献。但遗憾的是相关文献信息量太少, 难以作出更深探究。

沈阳铸造研究所张乔<sup>[41]</sup>等采用粉末压片制样, 理论  $\alpha$  系数法校正基体效应, 建立了铬铁矿砂样品中  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、TFe、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、CaO、MgO 组分快速

测定方法。作者理论讨论了粒度与荧光强度关系并实验确定了样品(包括校准样品)粉碎到近 300 目 ( $48\mu\text{m}$ ) 时 XRF 强度达到稳定, 认为在这一粒度下颗粒效应和矿物效应可以忽略, 从而用粉末压片制样也获得了较高精度的结果(对于质量分数分别为 44.34%、9.7% 和 9.25% 的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、TFe、 $\text{SiO}_2$ , RSD 分别为 0.17%、0.68% 和 0.71%)。这里应该指出: 文中对样品加工的粒度是以 90s 来控制的, 但这时样品过 300 目筛的通过率只有 80%, 显然这一粒度仍难认为是已达到 300 目粒度水平。

国土资源部天津地质调查中心曾江萍<sup>[43]</sup>等采用超细粉末 ( $10\mu\text{m}$ , 约相当于 1340 目) 压片测定了铬铁矿中 Cr、TFe、Si、Al、Ca、Mg、S、Co、Ni、V, 获得了较高精度的结果(对于质量分数分别为 31.84%、10.62% 和 2.31% 的 Cr、TFe、Si, RSD 分别为 0.26%、1.35% 和 0.63%)。该研究小组采用超细样品分析的研究工作也已用于磷矿石、铝土矿、碳酸盐、水系沉积物和土壤等, 这是该研究小组系列研究的一部分<sup>[45-48]</sup>。超细标准物质和超细样品分析已是近年地质分析的重要发展方向<sup>[49-51]</sup>, 在地质分析领域正在得到越来越广泛关注。

兰州兰石检测技术有限公司卜兆杰<sup>[44]</sup>等采用粉末样品 (200 目,  $74\mu\text{m}$ ), 同添加剂以 4:1 质量比混合后压片制样测定了铬矿砂中  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、TFe、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、CaO、MgO 等 6 种氧化物。其中,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、TFe、 $\text{SiO}_2$  质量分数分别为 46.36%、15.44%、5.08%, RSD 分别为 1.3%、0.52% 和 0.89%。作者也是用粒度与样品中的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  含量测定值的实验确认: 粒度小于 200 目 ( $74\mu\text{m}$ ) 时, 粒度对荧光强度的影响可以忽略。

张乔<sup>[41]</sup>、卜兆杰<sup>[44]</sup>等的研究工作都从实验证明了在 200~300 目 ( $74\sim 48\mu\text{m}$ ) 粒度下, 直接粉末压片制样 XRF 测定铬铁矿石主次组分的可行性, 其结果具有与熔融方法相近的分析精度。

应该指出, 200 目 ( $74\mu\text{m}$ ) 粒度是当今我国地质标准物质和分析样品(贵金属除外)的基本粒度要求。显然, 在这一粒度条件下研究制定的分析方法具有更广的适用性。

## 2.3 标准分析方法

我国先后于 2002 和 2009 年制定的铬铁矿石的行业和国家标准分析方法都是采用六偏磷酸钠和偏硼酸锂等熔剂熔融制样, 并以波长色散 X 射线荧光光谱法测定。两方法的主要差别: 一是粒度要求不同, 前者为不大于  $160\mu\text{m}$  (大体相当 90 目), 而后者



为小于  $74\mu\text{m}$ (200目);二是测定元素有差异,前者为 Cr、Si、Fe、Al、Mg、Ca 等 6 个元素,后者为 Mg、Al、Si、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni 等 10 个元素。

由检索国内文献可知:在此之前国内还没有这类方法文献发表,而其发表的几个此类方法的文献测定元素都较少。谷松海<sup>[30]</sup>等研究了有效解决使用六偏磷酸钠 $[(\text{NaPO}_3)_6]$ 和偏硼酸锂 $(\text{LiBO}_2)$ 等熔剂熔融制样方法时间长、产生大量气泡导致飞溅、不能同时测定 P 元素及对铂黄坩埚腐蚀较大等问题,提出了先用  $\text{HClO}_4$  处理,再用四硼酸锂 $(\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7)$ -偏硼酸锂 $(\text{LiBO}_2)$ 混合熔剂熔融的制样方法,获得了较好结果。

从国内 XRF 分析铬铁矿石的上述文献和 XRF 技术发展的角度看,制定以硼酸盐混合熔剂制样,甚至直接粉末压片制样 XRF 分析铬铁矿石主、微量组分的方法已有了坚实基础,期待该类方法的研究制定。

## 3 讨论与建议

### 3.1 关于制样方法的选择

对于粉末地质样品主次组分分析,XRF 虽有两种基本的制样方法,即直接粉末压片和熔融制样,但应该强调,直接粉末压片制样是 XRF 分析最基本的第一选择,唯此才能使 XRF 制样简单、快速、经济和“环境友好”这一最大优势得以充分发挥和体现。然而遗憾的是粉末地质样品普遍存在的粒度和矿物效应严重影响着粉末压片制样法的广泛应用,而熔融制样正是解决这一问题的最有效方法。尽管如此,也应强调熔融制样是在粒度和矿物效应严重影响准确度时而不采用的制样方法。

另一公知是粒度效应是随被测谱线波长的减小而迅速降低,对于大多数金属矿石来说,200 目样品的粒度效应大多数情况下是可接受的(不包括矿物效应),这些效应是否可被接受,最好还是通过类似 3.2 讨论内容中的实验验证。

### 3.2 关于样品粒度的影响

判断粒度效应是否可忽略最简单有效的方法就是通过实验检验:将样品分别加工研磨至不同粒度,测定各粒度下被检验元素的 X 射线强度,当强度达到稳定时的粒度,即可认为在这一粒度下粒度效应可以忽略<sup>[52]</sup>。通过这样的实验,胥成民、佘云等<sup>[53-54]</sup>检验了铁矿石,宁艳、熊刚等<sup>[55-56]</sup>检验了锰矿石,王雪莲、韩延兵等<sup>[57-58]</sup>检验了钒钛磁铁矿石,卜兆杰等<sup>[59]</sup>检验了钛铁矿石,并分别讨论了相关矿石

分析时的粒度效应,都认为在 200 目粒度下的粒度效应可以忽略,从而确定了采用直接压片制样的可行性。

### 3.3 关于选用技术方法的思考

低碳、“环境友好”的技术方法是化学分析方法研究的第一要素<sup>[60]</sup>,发展粉末压片制样的 XRF 方法是发挥 XRF 技术本身的独特优势和社会发展需求之必然。据已有文献,建议加强直接粉末压片制样 XRF 分析铬铁矿石分析方法的研究,发展环境友好分析技术,充分发挥 XRF 技术的固有优势。

作者最后想说的是,技术方法研究需要继承和发展,尤其在技术创新方面离不开前人多年的经验和成果。科研人员引用与评介与本研究工作相近的前人文献是不可缺的,但遗憾的是大多数论文引文较少,从而也就削弱了自己文献的价值和影响力。

感谢中国地质科学院地球物理地球化学研究所李国会研究员对本文提出的重要修改意见,特别是对矿物效应等所做的有益讨论。

## 参考文献:

- [1] 百度百科. 铬(化学元素)[EB/OL].[2019-05-17]. <https://baike.baidu.com/item/铬/2125047fr=aladdin>.
- [2] 百度百科. 铬铁矿[EB/OL].[2019-05-17]. <https://baike.baidu.com/item/铬铁矿/2324459fr=aladdin>.
- [3] 李艳军,张剑廷.我国铬铁矿资源现状及可持续供应建议[J].金属矿山,2011(10):27-30.  
LI Yan-jun,ZHANG Jian-ting.Current situation of chromite ore in China and recommendation on its sustainable supply[J].Metal Mine,2011(10):27-30.
- [4] 何哲峰,蒋荣宝,刘树臣.我国铬铁矿资源安全分析[J].中国矿业,2016,25(6):7-11.  
HE Zhe-feng,JIANG Rong-bao,LIU Shu-chen.Analysis of chromite ore resources security in China[J].China Mining Magazine,2016,25(6):7-11.
- [5] 屈伟,周成英,蔡缪璐.分光光度法测定铬铁矿中铬[J].理化检验:化学分册(Physical Testing and Chemical Analysis Part B:Chemical Analysis),2012,48(7):852-853.
- [6] 朱德庆,李建,范晓慧,等.铬铁矿粉造块方法综述[J].烧结球团,2004,29(2):27-30.  
ZHU De-qing,LI Jian,FAN Xiao-hui,et al.Literature review of the agglomeration of chromite fines[J].Sintering and Pelletizing,2004,29(2):27-30.
- [7] 褚洪涛.我国铬铁矿资源供求分析与对策探讨[J].采矿技术(Mining Technology),2008,8(2):87-88.
- [8] 周勇,李俊建,段明.我国铬铁矿床地质特征和找矿方向

- [J].地质找矿论丛, 2013, 28(3): 327-334.
- ZHOU Yong, LI Jun-jian, DUAN Ming. Present situation, geological features and prospecting direction of chromite in China[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2013, 28(3): 327-334.
- [9] 杨毅恒, 曾乐, 邓凡, 等. 中国铬铁矿资源潜力分析及找矿方向[J]. *地学前缘*, 2018, 25(3): 138-147.
- YANG Yi-heng, ZENG Le, DENG Fan, et al. Geological characteristics and mineralization potential of chromite resources in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2018, 25(3): 138-147.
- [10] 漆文芳. 碱熔-EDTA 滴定法测定铬铁矿中钙和镁[J]. *冶金分析*, 2015, 35(11): 48-53.
- QI Wen-fang. Determination of calcium and magnesium in chromite by alkali fusion-EDTA titration[J]. *Metallurgical Analysis*, 2015, 35(11): 48-53.
- [11] 岩石矿物分析编委会. 岩石矿物分析: 第 2 分册[M]. 4 版. 北京: 地质出版社, 2011: 862-866.
- [12] 罗立强, 詹秀春, 李国会. X 射线荧光光谱仪[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 107-139.
- [13] 邓赛文, 王祎亚, 王毅民. 中国磷矿石分析文献评介[J]. *岩矿测试*, 2011, 30(3): 384-390.
- DENG Sai-wen, WANG Yi-ya, WANG Yi-min. A review on literatures of phosphate ores analysis in China[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2011, 30(3): 384-390.
- [14] 王毅民, 王晓红. 我国地质分析中 X 射线光谱技术的回顾与展望[J]. *岩矿测试*, 2000, 19(4): 275-285.
- WANG Yi-min, WANG Xiao-hong. The review and prospect on X-ray spectrometry in geoanalysis in China[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2000, 19(4): 275-285.
- [15] WANG Xiao-hong, LI Guo-hui, ZHANG Qin, et al. Determination of major, minor and trace elements in seamount phosphorite by XRF spectrometry[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2004, 28(1): 81-88.
- [16] 西北地质科学研究所. 铬铁矿石分析[M]. 北京: 地质出版社, 1977: 20-239.
- [17] 地质部矿物原料研究所. 矿物原料分析[M]. 北京: 地质出版社, 1959: 185-194.
- [18] 岩石矿物分析编写组. 岩石矿物分析[M]. 2 版. 北京: 地质出版社, 1974: 285-302.
- [19] 岩石矿物分析编写组. 岩石矿物分析: 第 1 分册[M]. 3 版. 北京: 地质出版社, 1991: 318-346.
- [20] 岩石矿物分析编委会. 岩石矿物分析: 第 3 分册[M]. 4 版. 北京: 地质出版社, 2011: 862-865.
- [21] 谢立荣. 铬铁矿和超基性岩标准样品的测试方法[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1981(3): 93-103.
- XIE Li-rong. Methods in constituent determination of the standard samples of chromite ores and ultrabasic rocks[J]. *Northwest Geoscience*, 1981(3): 93-103.
- [22] 杨丽华. 铬铁矿和超基性岩标准样品的制备[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1981(3): 85-92.
- YANG Li-hua. Preparation of the standard samples of chromite ores and ultrabasic rocks[J]. *Northwest Geoscience*, 1981(3): 85-92.
- [23] 凌进中. 中国铬铁矿分析的进展[J]. *分析化学 (Chinese Journal of Analytical Chemistry)*, 1982, 10(12): 755-761.
- [24] 黄宏库, 程志中, 刘妹, 等. 铬铁矿标准物质研制[J]. *化学分析计量*, 2010, 19(5): 4-6.
- HUANG Hong-ku, CHENG Zhi-zhong, LIU Mei, et al. Development of reference materials of chromite[J]. *Chemical Analysis and Meterage*, 2010, 19(5): 4-6.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. SN/T 1118—2002 铬矿中铬、硅、铁、铝、镁、钙的测定 波长色散 X 射线荧光光谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 24231—2009 铬矿石 镁、铝、硅、钙、钛、钒、铬、锰、铁和镍含量的测定 波长色散 X 射线荧光光谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [27] 李国会. X 射线荧光光谱法测定铬铁矿中主次量组分[J]. *岩矿测试*, 1999, 18(2): 131-134.
- LI Guo-hui. Determination of major and minor elements in chromite by X-ray fluorescence spectrometry[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 1999, 18(2): 131-134.
- [28] 陈新, 胡晓静, 欧阳昌俊, 等. X 射线荧光法对镁铬砂成分的定量测定[J]. *光谱实验室*, 2000, 17(4): 431-434.
- CHEN Xin, HU Xiao-jing, OUYANG Chang-jun, et al. Determination of major elements in chrome magnesite by XRF[J]. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 2000, 17(4): 431-434.
- [29] 吴秀兰, 朱明达, 张志峰, 等. 高倍稀释熔融制样 X 射线荧光光谱测定钨砂和铬铁矿中主含量[J]. *岩矿测试*, 2004, 23(1): 73-74.
- WU Xiu-lan, ZHU Ming-da, ZHANG Zhi-feng, et al. Determination of  $WO_3$  in wolfram ore and  $Cr_2O_3$  in chromite by XRF with high-dilution fusion sample preparation[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2004, 23(1): 73-74.
- [30] 谷松海, 宋义, 郭芬. X-射线荧光光谱法同时测定铬矿中主次成分[J]. *冶金分析*, 2008, 28(4): 16-19.
- GU Song-hai, SONG Yi, GUO Fen. Determination of major and minor components in chrome ore by X-ray fluorescence spectrometry[J]. *Metallurgical Analysis*, 2008, 28(4): 16-19.
- [31] 李小莉, 安树清, 张莉娟, 等. 低稀释比熔融制样-X 射线荧光光谱法测定铬铁矿中主次量组分[C]// 第八届全

- 国 X 射线荧光光谱学术报告会论文集. 上海: 中国地质学会, 2010: 90-95.
- [32] 郭建斌, 刘江斌, 祝建国. 熔融制样-X 射线荧光光谱法测定铬铁矿中铬、铁、硫等 10 种主次量组分[J]. 分析测试技术与仪器, 2013, 19(3): 153-156.  
GUO Jian-bin, LIU Jiang-bin, ZHU Jian-guo. Determination of chromium, iron, sulfur and other 10 major and minor elements in chromite ores by X-ray fluorescence spectrometry[J]. Analysis and Testing Technology and Instruments, 2013, 19(3): 153-156.
- [33] 曾江萍, 吴磊, 李小莉, 等. 较低稀释比熔融制样 X 射线荧光光谱法分析铬铁矿[J]. 岩矿测试, 2013, 32(6): 915-919.  
ZENG Jiang-ping, WU Lei, LI Xiao-li, et al. Determination of chromite by X-ray fluorescence spectrometry with sample preparation of a lower-dilution fusion[J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32(6): 915-919.
- [34] 刘怀丽, 王竹. X 射线荧光法测定铬矿砂中氧化物及 P、S 元素[J]. 一重技术, 2014, (3): 51-53.  
LIU Huai-li, WANG Zhu. X-ray fluorescence technique to determine oxides, phosphorus and sulfur in chromium ores[J]. CFHI Technology, 2014, (3): 51-53.
- [35] 朱忠平, 曾精华, 王长根, 等. 熔融制样 X 射线荧光光谱法测定高铬赤泥中主次量组分[J]. 岩矿测试, 2014, 33(6): 822-827.  
ZHU Zhong-ping, ZENG Jing-hua, WANG Chang-gen, et al. Determination of major and minor components in high-Cr red mud by X-ray fluorescence spectrometry with fusion sample preparation[J]. Rock and Mineral Analysis, 2014, 33(6): 822-827.
- [36] 徐志彬, 赵超, 苑丽质, 等. X 射线荧光光谱法测定铬矿熔样方法研究[J]. 冶金分析, 2015, 35(7): 27-31.  
XU Zhi-bin, ZHAO Chao, YUAN Li-zhi, et al. Study on the sample fusion method of chromium ore for the determination by X-ray fluorescence spectrometry [J]. Metallurgical Analysis, 2015, 35(7): 27-31.
- [37] 李晓桂, 赵会峰, 周莉. 利用 X 射线荧光光谱仪测定铬矿石中的 Cr、Fe、Si、Al、Ca、Mg 的含量[J]. 玻璃与搪瓷, 2016, 44(5): 15-18.  
LI Xiao-gui, ZHAO Hui-feng, ZHOU Li. Using X-ray fluorescence spectrometer to determine the content of Cr, Fe, Si, Al, Ca and Mg in chrome ore[J]. Glass & Enamel, 2016, 44(5): 15-18.
- [38] 王智鹏, 李可及, 董欣杨, 等. 六偏磷酸钠熔融-X 射线荧光光谱法测定铬铁矿主成分[J]. 湿法冶金, 2016, 35(1): 83-86.  
WANG Zhi-peng, LI Ke-ji, DONG Xin-yang, et al. Determination of main constituent of chromite by sodium metaphosphate melting-X-ray fluorescence spectrometry [J]. Hydrometallurgy of China, 2016, 35(1): 83-86.
- [39] 田琼, 胡建军, 叶金燕, 等. 熔融制样-X 射线荧光光谱法测定铬矿中 14 种主次成分[J]. 冶金分析, 2017, 37(12): 33-37.  
TIAN Qiong, HU Jian-jun, YE Jin-yan, et al. Determination of fourteen major and minor components in chromite by X-ray fluorescence spectrometry with fusion sample preparation[J]. Metallurgical Analysis, 2017, 37(12): 33-37.
- [40] 铁生年, 俞径保, 麻鑫, 等. X 荧光光谱法测铬铁矿中 Cr、Fe、Si、Mg、Al、Ca 的含量[J]. 冶金标准化与质量 (Metallurgical Standardization & Quality), 1998, (12): 16.
- [41] 张乔, 童晓旻. 铬铁矿砂中主要成分的 X 射线荧光光谱法测定[J]. 铸造, 2002, 51(7): 442-445.  
ZHANG Qiao, TONG Xiao-min. X-ray fluorescence spectrometry determination of chromite by powder briquette pressed technique[J]. Foundry, 2002, 51(7): 442-445.
- [42] 刘江斌. X 射线荧光光谱法测定铬铁矿中的主次量组分 [C]// 甘肃省化学会第二十八届年会暨第十届中学化学教学经验交流论文集. 庆阳: 甘肃省化学会, 2013: 199-202.
- [43] 曾江萍, 李小莉, 张莉娟, 等. 超细粉末压片 X 射线荧光光谱法分析铬铁矿中的多各元素[J]. 矿物学报, 2015, 35(4): 545-549.  
ZENG Jiang-ping, LI Xiao-li, ZHANG Li-juan, et al. Determination of multi-elements in chromite by X-ray fluorescence spectrometry with ultra-fine powder tableting [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015, 35(4): 545-549.
- [44] 卜兆杰, 王晓旋, 黄健强, 等. 粉末压片制样-X 射线荧光光谱法测定铬矿砂中 6 种氧化物[J]. 理化检验: 化学分册 (Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis), 2017, 53(8): 978-980.
- [45] 曾江萍, 张莉娟, 李小莉, 等. 超细粉末压片-X 射线荧光光谱法测定磷矿石中 12 种组分[J]. 冶金分析, 2015, 35(7): 37-43.  
ZENG Jiang-ping, ZHANG Li-juan, LI Xiao-li, et al. Determination of twelve components in phosphate ore by X-ray fluorescence spectrometry with ultra-fine powder tableting[J]. Metallurgical Analysis, 2015, 35(7): 37-43.
- [46] 李小莉, 安树清, 徐铁民, 等. 超细粉末压片制样 X 射线荧光光谱法测定碳酸岩样品中多种元素及 CO<sub>2</sub> [J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(6): 1741-1745.  
LI Xiao-li, AN Shu-qing, XU Tie-min, et al. Ultra-fine pressed powder pellet sample preparation XRF determination of multi-elements and carbon dioxide in carbonate [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2015, 35(6):

- 1741-1745.
- [47] 张莉娟, 曾江萍. 超细制样粉末压片法测定铝土矿中主要元素的含量[J]. *轻金属*, 2014, (7): 6-9.  
ZHANG Li-juan, ZENG Jiang-ping. Determination of main elements of bauxite by pressed ultrafine powder pellet[J]. *Light Metals*, 2014, (7): 6-9.
- [48] 张莉娟, 刘义博, 李小莉, 等. 超细粉末压片法-X射线荧光光谱测定水系沉积物和土壤中的主要元素[J]. *岩矿测试*, 2014, 33(4): 517-522.  
ZHANG Li-juan, LIU Yi-bo, LI Xiao-li, et al. Determination of major elements in stream sediments and soils by X-ray fluorescence spectrometry using pressed-superfine powder pellets[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2014, 33(4): 517-522.
- [49] WANG Yi-min, GAO Yu-shu, WANG Xiao-hong, et al. Investigations into the preparation of ultra-fine particle size geochemical reference materials [J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2004, 28(1): 113-122.
- [50] 王晓红, 高玉淑, 王毅民. 超细地质标准物质及其应用[J]. *自然科学进展*, 2006, 16(3): 309-315.
- [51] 王晓红, 何红蓼, 王毅民, 等. 超细样品的地质分析应用[J]. *分析测试学报*, 2010, 29(6): 578-583.  
WANG Xiao-hong, HE Hong-liao, WANG Yi-min, et al. Geoanalytical techniques using ultra-fine samples [J]. *Journal of Instrumental Analysis*, 2010, 29(6): 578-583.
- [52] 高新华, 宋武元, 邓赛文, 等. 实用 X 射线光谱分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016: 243-250.
- [53] 胥成民, 任丽萍, 蒋海宁, 等. X-射线荧光光谱粉末压片法测定进口铁矿中的主次元素含量[J]. *现代商检科技 (Journal of Inspection and Quarantine)*, 1998, 8(6): 11-13.
- [54] 佺云, 贾丽娜. 粉末压片制样 X-射线荧光光谱法测定铁矿石中主次元素[J]. *有色矿冶*, 2017, 33(4): 52-56.  
NAO Yun, JIA Li-na. Analysis of iron ore component using XRF with powder pressured sample method [J]. *Non-Ferrous Mining and Metallurgy*, 2017, 33(4): 52-56.
- [55] 宁艳, 蓝恩洪, 黄义伟, 等. X 荧光光谱仪在锰矿分析中的应用拓展[J]. *轻工科技 (Light Industry Science and Technology)*, 2012, 167(10): 25-26.
- [56] 熊刚. X 荧光光谱仪在锰矿分析中的应用前景[J]. *中国化工贸易 (China Chemical Trade)*, 2013, (1): 152.
- [57] 王雪莲, 胡斯宪, 郭楠, 等. X 射线荧光光谱法同时测定钒钛磁铁矿中铁钒钛[J]. *四川地质学报*, 2016, 36(3): 521-523.  
WANG Xue-lian, HU Si-xian, GUO Nan, et al. Determination of Fe, Ti and V in vanadium titanomagnetite by XRF [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2016, 36(3): 521-523.
- [58] 韩延兵, 曹珊, 马景治. X 射线荧光光谱法快速测定钒钛磁铁矿中的 Ti、Fe、P、V、Co [J]. *西北地质*, 2017, 50(2): 224-230.  
HAN Yan-bing, CAO Shan, MA Jing-zhi. Rapid determination of titanium, iron, phosphorus, vanadium and cobalt in titanomagnetite by X-ray fluorescence spectrometry [J]. *Northwestern Geology*, 2017, 50(2): 224-230.
- [59] 卜兆杰, 王晓旋, 黄健强, 等. 粉末压片制样-X 射线荧光光谱(XRF)法测定钛铁矿中 TFe、TiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO 的含量[J]. *中国无机分析化学*, 2018, 8(1): 17-20.  
BU Zhao-jie, WANG Xiao-xuan, HUANG Jian-qiang, et al. Determination of TFe, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO and MgO content in ilmenite by XRF with powder pressed method [J]. *Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry*, 2018, 8(1): 17-20.
- [60] 刘咸德, 王林. 绿色分析化学技术的研究进展[J]. *岩矿测试*, 2000, 19(4): 268-274.  
LIU Xian-de, WANG Lin. Research progress of green analytical chemistry [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2000, 19(4): 268-274.

## Review on the application of X-ray fluorescence spectrometry in analysis of chromite ore

LI Song, DENG Sai-wen, WANG Yi-min\*, WANG Yi-ya, LIU Yang, TAO Di

(National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China)

**Abstract:** At present, X-ray fluorescence spectrometry (XRF) has become one of the most important methods for the analysis of chromite ore. Total 18 journal papers about the analysis of chromite ore by XRF in China from 1998 to 2018 were collected, wherein 13 of them adopted fusion sample preparation method and 5 of them adopted pressed powder pellet. The analysis methods of chromite ore in China were over-



viewed. The main points of these methods were introduced by means of list. The typical and representative literatures were focused on according to the sample preparation method. Finally, the selection of sample preparation method, the influence of sample size and mineral effect, and the future development trend of XRF in the analysis of chromite ore were discussed. Total 60 references were cited.

**Key words:** X-ray fluorescence spectrometry (XRF); chromite ore; fusion sample preparation; pressed powder pellet; review

## “2019 中国·乌兰察布合金新材料产业大会”会议报道

2019 年 7 月 24~27 日, 由钢铁研究总院、乌兰察布市人民政府主办、北京钢研柏苑出版有限责任公司承办的“2019 中国·乌兰察布合金新材料产业大会”在内蒙古乌兰察布市成功召开。

来自乌兰察布市政府、乌兰察布铁合金行业协会、国内各铁合金企业、钢铁企业、高校、科研院所和上下游企业、设备供应商等领导、特邀嘉宾、专家、学者和技术人员约 700 余人齐聚一堂, 交流技术, 洽谈贸易, 合作共赢。

本届大会的主题是: “促进乌兰察布市及我国铁合金行业环保、节能和技术进步, 促进铁合金电炉设备自动化、智能化设备管理水平, 促进铁合金产业与原料、钢铁及相关产业链间横、纵向联合发展, 全力弘扬乌兰察布铁合金之都的形象”, 希望通过多个会场间的交流探讨, 全面推动乌兰察布市铁合金行业乃至全国铁合金行业的发展进步, 做大做强乌兰察布及我国铁合金行业的整体实力和竞争力, 提升乌兰察布市在国内乃至国际铁合金领域的“铁合金之都”的战略优势和地位。

共设一个主会场和四个分会场, 即: 2019 中国·乌兰察布合金新材料产业大会(主会场), 铁合金炉渣、尾气、余热综合利用及铁合金工业节能技术交流会(分会场), 铁合金技术交流会(分会场), 铁合金项目商贸洽谈会(分会场)及铁合金产品大型展销会(分会场)等, 共有 45 位专家学者作了精彩的报告, 内容涉及各位领导及专家学者在报告中阐明了自己的观点, 概括了近年来合金新材料产业发展现状, 并指出了行业的发展前景, 为冶金行业的发展提供了宝贵的建议。

乌兰察布市副市长雷儒鑫、钢铁研究总院副院长赵栋梁等分别作了开幕式致辞。大会由北京科技大学冶金与生态工程学院院长张立峰教授和钢铁研究总院科技信息与战略研究所所长邓陈虹、中国铁合金工业协会专家组组长、研究员刘维国以及铁合金行业专家阎贵春、邸俊明、李广明等主持。

会后, 代表们还应邀参观了内蒙古化德县天成铁合金有限责任公司, 参观了位于天成公司内的北京华晟环能科技有限公司余气发电设备。在感叹北京华晟环能科技有限公司和西门子公司余气发电设备先进性和节能性的同时, 代表们对化德县天成铁合金有限公司环境的整洁、管理的现代化、智能化均表示由衷的赞叹!

两天的大会时间虽然很短暂, 但是大会上企业界、学术界与商业界交流碰撞所产生的能量, 将会是推动冶金行业新发展的动力。可见, 大会的成功举办对整个铁合金乃至钢铁行业的发展影响深远, 意义非凡。

本届“2019 中国·乌兰察布合金新材料产业大会”于 7 月 27 日圆满闭幕。全体与会专家、代表们均对本届大会的成功举办给予了高度评价。感谢乌兰察布市政府、钢铁研究总院、乌兰察布铁合金行业协会、全体专家、代表们的鼎力支持! 感谢化德县天成铁合金有限公司对参观代表的热情接待! 同时也祝福每年一届的乌兰察布合金新材料产业大会越办越好, 为我国铁合金行业、为乌兰察布铁合金行业的整体发展起到务实有效的推动作用。