第 6 卷第 1 期
2016 年 3 月

中国无机分析化学
Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry

Vol. 6, No. 1
53～58

doi:10.3969/j.issn.2095-1035.2016.01.014

电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)法测定再生锌原料中铜、铅、铁、铟、镉、砷、钙、铝

苏春风

(北京矿冶研究总院,北京 102628)

摘　要　采用硝酸、盐酸、氢氟酸(氟化氢铵)、高氯酸分解样品,电感耦合等离子体原子发射光谱法测定了再生锌原料中铜、铅、铁、铟、镉、砷、钙、铝的量。其测定范围:ω(Cu):0.01%～0.60%;ω(Pb):0.10%～5.00%;ω(Fe):0.10%～5.00%;ω(In):0.0100%～0.200%;ω(Cd):0.010%～3.00%;ω(As):0.10%～2.00%;ω(Ca):0.10%～10.00%;ω(Al):0.10%～4.00%。各元素的加标回收率为 93%～113%。方法准确、快速、可靠,适用于再生锌原料中铜、铅、铁、铟、镉、砷、钙、铝量的同时测定。

关键词　再生锌原料;电感耦合等离子体原子发射光谱法;铟

中图分类号:O657.31;TH744.11　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:2095-1035(2016)01-0053-06

Determination of Copper, Lead, Iron, Indium, Cadmium, Arsenic, Calcium and Aluminum Contents in Regenerated Zinc Materials by Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry

SU Chunfeng

(*Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy*, *Beijing* 102628, *China*)

Abstract　The sample was digested with nitric acid, hydrochloric acid, hydrofluoric acid (ammonium hydrogen fluoride) and perchloric acid. A method for the determination of copper, lead, iron, indium, cadmium, arsenic, calcium and aluminum in regenerated zinc raw materials was reported. The measurement ranges for Cu, Pb, Fe, In, Cd, As and Ca were 0.01%～0.60%, 0.10%～5.00%, 0.10%～5.00%, 0.01%～0.200%, 0.010%～3%, 0.10%～2%, 0.10%～10% and 0.10%～4%, respectively. The recoveries of the above-mentioned elements were 93%～113%. The method is accurate, rapid and reliable. It has been proved to be a convenient method for the determination of the contents of copper, lead, iron, indium, cadmium, arsenic, calcium and aluminum in regenerated zinc materials simultaneously.

Keywords　regenerated zinc materials; inductively coupled plasma emission spectrometry; indium

0　前言

再生锌原料是由废锌合金材料和废旧铝或含锌的废料,经重新熔化提炼而得到的锌合金或锌金属,是金属锌的重要来源[1],其主要存在元素有 Zn、Pb、Fe、Mn、Ca、Mg、Al、Cu、Cd、As 等。目前对锌精矿中杂质分析较多[2],但由于再生锌成分较锌精矿更为复杂,对再生锌原料的化学分析方法较少。再生

收稿日期:2015-10-25　　**修回日期**:2015-12-05

基金项目:国家科技部重大仪器专项"ICP 痕量分析仪器的研制与应用"(2011YQ120023)资助

作者简介:苏春风,女,助理工程师,主要从事矿石及有色金属中杂项元素的分析研究。E-mail:scf759@126.com

锌原料中含锌烟尘，次氧化锌中常伴有铟的存在。常见铟的分析方法有分光光度法，盐酸羟胺底液示波极谱法以及萃取分离后原子吸收光谱法[3-4]，方法比较繁琐，流程较长。本文通过采用硝酸、盐酸、氢氟酸(氟化氢铵)、高氯酸分解样品，通过对仪器最优条件、谱线选择、共存元素干扰、样品分解、酸度实验的选择，建立了一种利用电感耦合等离子体原子发射光谱法[5-8]同时测定再生锌原料中的铜、铅、铁、铟、镉、砷、钙、铝的方法，方法准确、快速。

1 实验部分

1.1 试剂

在分析中仅使用确认为优级纯的试剂；所用水为一级水；氩气[w(Ar) ≥99.996%]。

铜、铅、铁、铟、镉、砷、钙、铝单元素标准储备溶液(1 000 μg/mL)：分别用各元素的标准物质按国家标准物质研究中心的标准溶液配制方法配制；铜、铅、铁、铟、镉、砷、钙、铝混合标准溶液浓度为100 μg/mL。

1.2 仪器

Agilent ICP-OES 725 电感耦合等离子体原子光谱仪(安捷伦科技公司，美国)。

1.3 实验方法

1.3.1 试料

按表 1 称取试样，精确至 0.000 1 g。

表 1 试料量及体积

Table 1 Dosage and volume of the samples

元素 Elements	试料量/g Sample volume	元素含量/% Element content	试液总体积/mL Total volume	分取体积/mL Volume divided	测定体积/mL Volumetirc	补加盐酸体积/mL Volume of hydrochloric acid added
Fe,As,Cu,Ca,Al,Cd,Pb	0.1	0.10～1.00	100	全量	100	
		>1.00		10	100	9.0
In	0.5	0.01～0.20	100	全量	100	

1.3.2 试样的分解及测定

1.3.2.1 铁、砷、铜、铝、钙、镉、铅的测定

称取试样(按表 1)于聚四氟乙烯烧杯中，加入 15 mL 硝酸，于低温条件下加热溶解约 10 min，然后加 5 mL 盐酸，5 mL 氢氟酸，3 mL 高氯酸，盖上聚四氟乙烯盖，继续低温加热冒白烟至湿盐状，取下稍冷，加 10 mL 盐酸，冲洗杯壁及聚四氟乙烯盖，加热溶解可溶性盐类，取下烧杯，冷却，移入 100 mL 容量瓶中，用水定容，混匀。按表 1 分取相应体积试液于 100 mL 容量瓶中，补加相应盐酸体积，用水稀释至刻度，混匀。于电感耦合等离子体原子发射光谱仪上，测量试液及随同试料空白溶液的发射光强度，仪器依据工作曲线计算出被测元素的质量浓度。

1.3.2.2 铟的测定

称取试样(按表 1)，置于 200 mL 玻璃烧杯中，加入少量氟化氢铵，用少量水溶解，加入 10 mL 盐酸加表面皿低温溶解约 5 min，然后加入 5 mL 硝酸，3 mL 高氯酸继续加热至白烟冒尽，取下冷却，加 10 mL 盐酸，用少量水冲洗杯壁及表面皿，加热至盐类溶解完全，取下冷却至室温，将溶液移入 100 mL 容量瓶中，用水定容，混匀。在各元素选定波长下于电感耦合等离子体原子发射光谱仪上，测量试液及随同试料空白溶液的发射光强度，仪器依据工作曲线计算出被测元素的质量浓度。

1.4 工作曲线的配制

分别移取 0.00、0.50、2.00、4.00、6.00、8.00、10.00 mL 铜、铅、铁、铟、镉、砷、钙、铝混合标准溶液于一组 100 mL 的容量瓶中，加入 10 mL 盐酸，用水定容，混匀。此标准系列溶液中钙、铝、铁、铜、铅、镉、砷、铟含量见表 2。于电感耦合等离子体原子发射光谱仪上，测量试液及随同试料空白溶液的发射光强度，仪器依据工作曲线，计算出被测元素的质量浓度。

2 结果与讨论

2.1 仪器参数的选择

考察了射频发生器功率、雾化气流量、辅助气流量、等离子气流量、进液泵速、观测高度等对被测元素谱线发射强度的影响，选择了实验的最佳仪器测量参数如表 3。

2.2 被测元素的谱线选择

谱线的选择与待测样品中所含元素及含量有很大的关系，选择受共存元素干扰小的谱线作为分析线，依据加标回收率实验以及干扰实验，选择表 4 所列谱线为各元素测定波长。

表 2　工作曲线

Table 2　Standard curves

元素 Elements	标准点浓度/(μg·mL⁻¹) Standard point							相关系数 Correlation
Ca	0.00	0.50	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	0.999 951
Al	0.00	0.50	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	0.999 999
Cd	0.00	0.50	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	0.999 948
As	0.00	0.50	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	0.999 978
In	0.00	0.50	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	0.999 469
Cu	0.00	0.50	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	0.999 903
Pb	0.00	0.50	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	0.999 875
Fe	0.00	0.50	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	0.999 956

表 3　仪器测量参数

Table 3　Instrument measuring parameters　/(L·min⁻¹)

RF 功率/W Power	雾化气流量 Flow rate of atomization gas	辅助气流量 Flow of auxiliary	等离子气流量 Flow of plasma gas	进液泵/(r·min⁻¹) Pump rate	观测高度/mm Height	一次读数时间/s Time of a reading	稳定时间/s Setting time	进样时间/s Sample time
1 200	0.65	1.50	15.0	15	9	6	30	30

表 4　测定元素波长选择

Table 4　Selection of element wavelength

元素 Elements	Cu	Pb	Fe	In	Cd	As	Ca	Al
谱线波长/nm Wavelengths	324.754	220.353	259.940	410.176	226.502	193.696	422.673	369.152

2.3　检出限和测定下限

重复测定 11 次试剂空白溶液，计算标准偏差，以 3 倍的标准偏差为检出限，5 倍的检出限为测定下限，结果见表 5。数据显示，各元素的检出限均能满足方法中的最低浓度要求。

表 5　仪器检出限和方法的检测下限

Table 5　Instrument detection limit and the method detection limit　/(μg·mL⁻¹)

元素 Elements	Pb	Fe	Ca	Al	Cu	Cd	As	In
检出限 Detection limit	0.018	0.006	0.004	0.003	0.004	0.002	0.015	0.030
检测下限 Determination limit	0.090	0.030	0.020	0.016	0.020	0.010	0.075	0.15

2.4　试样分解方法的选择

再生锌原料样品组成较为复杂，对其杂质元素逐一分析较为困难，为准确快速测定这些元素，拟采用一次溶样，用电感耦合等离子体原子发射光谱法对其杂质元素进行同时测定，因此对样品处理方法的选择是实验的关键，为此拟定了以下实验方案。

方案一：称取 0.10 g(精确至 0.000 1 g)试样于聚四氟乙烯杯中，加 15 mL 盐酸低温加热溶解约 10 min，加 5 mL 硝酸、5 mL 氢氟酸、3 mL 高氯酸，盖上聚四氟乙烯盖，低温加热溶解样品。

方案二：称取 0.10 g(精确至 0.000 1 g)试样于聚四氟乙烯杯中，加 15 mL 硝酸低温加热溶解约 10 min，加 5 mL 盐酸、5 mL 氢氟酸、3 mL 高氯酸，盖上聚四氟乙烯盖，低温加热溶解样品。

方案三：称取 0.50 g(精确至 0.000 1 g)试样于聚四氟乙烯杯中，加 15 mL 硝酸低温加热溶解约 10 min，加 5 mL 盐酸、5 mL 氢氟酸、5 mL 高氯酸，盖上聚四氟乙烯盖，低温加热溶解样品。

方案四：称取 0.10 g(精确至 0.000 1 g)试样于玻璃杯中，加少量氟化氢铵，用少量水溶解，再加入 10 mL 盐酸、5 mL 硝酸、5 mL 高氯酸，盖上表皿，低温加热溶解样品。

方案五：称取 0.50 g(精确至 0.000 1 g)样品于玻璃杯中加入少量氟化氢铵，用少量水溶解，加入 10 mL 盐酸加表面皿低温溶解约 5 min，然后加入 5 mL 硝酸、5 mL 高氯酸，盖上表皿，加热溶解样品。

实验结果表明，方案一和方案二的 As(12# 样品)结果分别为 0.14%、0.16%；方案三中由于称样量大，含碳高的样品有严重的爬壁现象，而在聚四氟乙烯烧杯中很难消除，样品不易完全溶解，方案一钙(2# 样品)含量为 0.53%，方案二中钙含量为 0.56%；方案四中 Al 和 Ca 空白较高，其空白分别为 3.00 μg/mL、0.60 μg/mL，可能是由于氟化氢铵和玻璃杯作用使其空白较高；方案五中样品能够完全溶解。为了尽可能实现多元素同时测定，故选用方案二处理用来测定铁、砷、铜、铝、钙、镉、铅的样品，方案五处理用来测定铟的样品。

2.5 酸度的影响

试料以硝酸＋盐酸＋氢氟酸(氟化氢铵)＋高氯酸混合酸溶解，在盐酸(10%)条件下进行测定。实验考察了盐酸酸度对被测元素谱线强度的影响。取浓度为 1.00 μg/mL 的 Cd、Ca、Al、Fe、As、Cu、In、Pb 混合溶液，在盐酸体积分数 5.0%、10.0%、15.0%、20.0%时对其测定的影响进行了实验，结果见表 6。

表 6 酸度对测定结果的影响

Table 6 Effects of the acidity on the measurement results /(μg·mL^{-1})

元素 Element	加入量 Added	测得量 Found			
		HCl(5.0%)	HCl(10.0%)	HCl(15.0%)	HCl(20.0%)
Ca	1.00	0.99	1.00	1.02	1.03
Al	1.00	1.01	1.00	1.01	0.99
Fe	1.00	0.99	0.99	1.00	0.98
Cd	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01
As	1.00	1.00	1.00	1.03	1.04
In	1.00	1.03	1.00	1.02	1.00
Cu	1.00	0.99	1.01	1.01	0.99
Pb	1.00	1.01	1.00	1.02	1.00

实验表明，体积分数为 5.0%、10.0%、15.0%、20.0%的盐酸对各元素的测定基本无影响，考虑到试样中有的 Pb 含量较高，实验选择 HCl(10.0%)作为测定介质。

2.6 干扰实验

2.6.1 铁、砷、铜、铝、钙、镉、铅的干扰实验

再生锌原料中主要存在元素有 Zn、Pb、Fe、Mn、Ca、Mg、Al、Cu、Cd、As 等。其中锌最高含量 90%，铅最高含量 30%，铁最高含量 35%，钙最高含量 10%，锰最高含量 8%，镁最高含量 5%，铝最高含量 4%，镉最高含量 3%，砷最高含量 2%，其它元素均低于 2%。向 100 mL 容量瓶中分别加入铅、铁、钙、铝、铜、镉、砷标准溶液使其浓度为 1 μg/mL 的单元素标准溶液，通过在标准溶液中加入表 7 和表 8 中浓度的基体元素进行干扰实验，浓度测定结果见表 7 和表 8。

表 7 单元素干扰实验测定结果

Table 7 Analytical results of single element interference experiments /(μg·mL^{-1})

干扰元素 Interference elements	Pb	Fe	Ca	Al	Cu	Cd	As
Zn(1 000 μg/mL)	1.01	1.00	0.98	1.00	1.00	0.98	1.01
Pb(300 μg/mL)		0.99	0.98	0.97	1.00	1.00	0.97
Fe(400 μg/mL)	1.01		1.02	1.04	1.00	1.04	1.03
Ca(100 μg/mL)	1.01	0.98		1.00	0.98	1.02	1.00
Mg(50 μg/mL)	1.02	1.00	0.99	0.98	0.97	0.99	1.01
Cu(100 μg/mL)	1.00	0.99	0.96	0.98		0.98	1.03
Mn(80 μg/mL)		0.98	1.00	0.98	0.99	1.00	0.98
Al(40 μg/mL)	0.99	0.98	0.99		1.00	0.98	1.01
Cd(30 μg/mL)	0.98	0.99	0.98	1.01	1.00		0.99
As(20 μg/mL)	1.00	1.01	0.98	1.01	1.02	1.01	

表 8　混合离子干扰实验测定结果

Table 8　Analytical results of mixed ion interference experiments　/(μg·mL⁻¹)

待测元素 Elements	共存离子 Coexisting ions	测定值 Found
Ca	Zn(1 000 μg/mL)、Pb(300 μg/mL)、Fe(400 μg/mL)、Mg(50 μg/mL)、Cu(100 μg/mL)、Mn(80 μg/mL)、Al(40 μg/mL)、Cd(30 μg/mL)、As(20 μg/mL)	1.00
Al	Zn(1 000 μg/mL)、Pb(300 μg/mL)、Fe(400 μg/mL)、Mg(50 μg/mL)、Cu(100 μg/mL)、Mn(80 μg/mL)、Ca(100 μg/mL)、Cd(30 μg/mL)、As(20 μg/mL)	1.02
As	Zn(1 000 μg/mL)、Pb(300 μg/mL)、Fe(400 μg/mL)、Mg(50 μg/mL)、Cu(100 μg/mL)、Mn(80 μg/mL)、Al(40 μg/mL)、Cd(30 μg/mL)、Ca(100 μg/mL)	0.99
Pb	Zn(1 000 μg/mL)、Ca(100 μg/mL)、Fe(400 μg/mL)、Mg(50 μg/mL)、Cu(100 μg/mL)、Mn(80 μg/mL)、Al(40 μg/mL)、Cd(30 μg/mL)、As(20 μg/mL)	1.00
Cu	Zn(1 000 μg/mL)、Pb(300 μg/mL)、Fe(400 μg/mL)、Mg(50 μg/mL)、Ca(100 μg/mL)、Mn(80 μg/mL)、Al(40 μg/mL)、Cd(30 μg/mL)、As(20 μg/mL)	1.03
Cd	Zn(1 000 μg/mL)、Pb(300 μg/mL)、Fe(400 μg/mL)、Mg(50 μg/mL)、Cu(100 μg/mL)、Mn(80 μg/mL)、Al(40 μg/mL)、Ca(100 μg/mL)、As(20 μg/mL)	1.00
Fe	Zn(1 000 μg/mL)、Pb(300 μg/mL)、Ca(100 μg/mL)、Mg(50 μg/mL)、Cu(100 μg/mL)、Mn(80 μg/mL)、Al(40 μg/mL)、Cd(30 μg/mL)、As(20 μg/mL)	1.01

实验结果表明：在±5%的误差允许范围内，表 8 中离子加入量的条件下，共存离子对测定元素干扰小。

2.6.2　铟的干扰实验

因为称样量大，所以干扰元素的含量也相应地增大，配制浓度为 1 μg/mL 的铟元素标准溶液，通过在标准溶液中加入表 9 和表 10 中浓度的基体元素进行干扰实验，浓度测定结果见表 9 和表 10。

实验结果表明：在±5%的误差允许范围内，表 10 中离子加入量的条件下，共存离子对测定元素干扰小。

表 9　单元素干扰实验测定结果

Table 9　Analytical results of single element interference experiments　/(μg·mL⁻¹)

元素 Elements	加入浓度 Added	In 测得浓度 Found
Zn	4 500	0.99
Pb	1 500	0.99
Fe	2 000	0.99
Ca	500	1.00
Mg	250	1.00
Mn	400	1.02
Al	200	0.99
Cd	150	0.99
Cu	30	1.00
As	100	0.99

表 10　混合离子干扰实验测定结果

Table 10　Analytical results of mixed ion interference experiments　/(μg·mL⁻¹)

元素 Elements	共存离子 Coexisting ions	测定值 Found
In(1.00)	Zn(4 500 μg/mL)、Pb(1 500 μg/mL)、Fe(2 000 μg/mL)、Ca(500 μg/mL)、Mg(250 μg/mL)、Cu(30 μg/mL)、Mn(400 μg/mL)、Al(200 μg/mL)、Cd(150 μg/mL)、As(100 μg/mL)	1.03
In(2.00)		1.98
In(5.00)		4.98

2.7　方法精密度实验

取 14 个水平的再生锌原料样品进行了 11 次独立测定，测定结果见表 11。各元素的相对标准偏差(RSD)小于 8%，精密度良好。

表 11　方法精密度实验结果

Table 11　Precision tests of the method (n=11)　/%

元素 Elements	样品 Sample	平均值 Average	SD	RSD
Cu	6#	0.015	0.001 0	6.7
	2#	0.030	0.001 8	6.0
	8#	0.16	0.012	7.7
	7#	0.28	0.012	4.2
	11#	0.63	0.010	1.6

2.8　方法准确度实验

选取试样，加入一定量的标准溶液，按照本标准所规定处理样品，进行加标回收实验，分析结果见表 12，结果表明，方法有很好的准确度。

续表 11

元素 Elements	样品 Sample	平均值 Average	SD	RSD
Pb	6#	0.11	0.007 9	7.3
	10#	0.69	0.029	4.2
	9#	1.55	0.041	2.7
	1#	2.41	0.058	2.4
	3#	3.84	0.062	1.6
	11#	4.77	0.076	1.6
Fe	10#	0.20	0.009 2	4.7
	8#	0.83	0.030	3.7
	13#	1.81	0.054	3.0
	2#	3.66	0.065	1.8
	1#	4.94	0.046	0.93
In	2#	0.011	0.000 64	5.6
	7#	0.059	0.0023	3.9
	5#	0.15	0.003 3	2.2
Ca	6#	0.11	0.005 0	4.4
	2#	0.56	0.025	4.4
	11#	0.91	0.021	2.4
	4#	2.07	0.032	1.6
	5#	5.92	0.084	1.4
	9#	9.59	0.13	1.4
Cd	10#	0.013	0.000 82	6.1
	1#	0.075	0.003 0	4.0
	11#	0.14	0.006 0	4.2
	8#	0.84	0.035	4.1
	7#	2.77	0.068	2.5
Al	6#	0.20	0.014	6.9
	1#	0.44	0.009 2	2.1
	3#	0.92	0.012	1.3
	5#	2.63	0.045	1.7
	4#	3.55	0.053	1.5
As	12#	0.16	0.008 2	5.3
	7#	0.26	0.010	3.9
	11#	0.41	0.008 3	2.0
	14#	0.81	0.016	2.0
	13#	2.08	0.038	1.8

表 12 试样加标回收实验

Table 12 Recovery tests of the method

元素及样品 Elements and Sample No.		元素含量/% Content	加入量/μg Added	测得量/μg Found	回收率/% Recovery
Cu	11	0.63	600	1 290	110
	2	0.030	200	346	98.0
Pb	6	0.11	100	205	95.4
	10	0.69	700	1 352	94.5
	11	4.77	4 000	8 654	95.4
Fe	1	4.94	5 000	9 764	96.5
	10	0.20	200	425	112
In	5	0.15	800	1 564	99.9
	7	0.059	300	601	101
Ca	5	5.92	5 000	10 584	93.3
	6	0.11	100	211	101
	11	0.91	900	1 809	99.9

续表 12

元素及样品 Elements and Sample No.		元素含量/% Content	加入量/μg Added	测得量/μg Found	回收率/% Recovery
Cd	1	0.075	400	791	104
	7	2.77	3 000	5 560	93.0
Al	4	3.55	3 000	6 660	104
	6	0.20	200	391	95
As	11	0.41	400	831	103
	12	0.16	200	349	94.4

3 结论

实验结果表明：试样经硝酸、盐酸、氢氟酸（氟化氢铵）、高氯酸分解，电感耦合等离子体原子发射光谱（ICP-AES）法测定再生锌原料中的铁、砷、铜、铝、钙、镉、铅、铟等多种元素，方法操作较简单，干扰少，流程短，具有较好的精密度和准确度，能够满足再生锌原料中杂质元素含量的测定要求。

参考文献

[1] 孔明，王晔. 中国再生锌工业[J]. 有色金属：冶炼部分（*Nonferrous Metals*：*Extractive Metallurgy*），2010(5)：51-54.

[2] 阮桂色. 电感耦合等离子体原子发射光谱法（ICP-AES）测定锌精矿中杂质元素含量[J]. 中国无机分析化学（*Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry*），2013，3(1)：93-96.

[3] 庞海岩，朱茜，李文峰，等. 火焰发射法测定冶炼废渣中的铟[J]. 光谱学与光谱分析（*Spectroscopy and Spectral Analysis*），2002，22(5)：845-846.

[4] 刘婷. 火焰原子吸收光谱法测定铟的方法探讨[J]. 湖南有色金属（*Hunan Nonferrous Metals*），2006，22(4)：56-57.

[5] 王松君，常平，王璞，等. ICP-AES 测定闪锌矿中 9 种元素的方法[J]. 吉林大学学报：理学版（Journal of Jilin University：Science Edition），2006，44(6)：993-996.

[6] 程健. 电感耦合等离子体发射光谱法测定锌精矿及锌培砂中 10 种杂质元素[J]. 冶金分析（*Metallurgical Analysis*），2007，27(11)：65-68.

[7] 马丽. 电感耦合等离子体发射光谱法测定锌精矿中的铟[J]. 中国无机分析化学（*Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry*），2013，3(2)：50-52.

[8] 阮桂色. 电感耦合等离子体原子发射光谱法（ICP-AES）技术的应用进展[J]. 中国无机分析化学（*Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry*），2011，1(4)：15-18.