

文章编号: 0254-5357(2012)01-0132-06

铬天青 S 光度法及非线性拟合测定高纯硅中微量铝

傅翠梨, 卢成浩, 张 蓉, 黄平平, 吴 浩, 罗学涛, 李锦堂*
(厦门大学材料学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 铬天青 S 光度法是硅中铝含量的测定方法之一, 该方法的标准曲线大多采用不过零点的线性拟合, 导致低铝含量测定误差大。为提高方法准确度并降低方法检出限, 研究了铝标准曲线低浓度部分的拟合问题, 探讨了不同拟合模型对检测结果准确度的影响。实验结果表明, 不同浓度铝标准液的吸光度在 0 ~ 0.3 $\mu\text{g/mL}$ 范围内并不满足一次函数线性关系, 采用三次函数关系 $y = -17.45230x^3 + 10.42883x^2 + 1.04047x$ (y 为扣空白的吸光度, x 为铝的质量浓度) 拟合能获得良好结果, 其相关系数 R^2 为 0.99975。利用已知铝含量的硅试液检验该公式, 其相对标准偏差 (RSD) 为 2.55%。样品中铝的测定值与电感耦合等离子体发射光谱法测定值吻合。该法可以显著提高低浓度的铝测定的准确性, 可用于测定高纯硅中含量在 0.55 $\mu\text{g/g}$ 以上的铝杂质。

关键词: 高纯硅; 铝; 铬天青 S 光度法; 标准曲线; 函数拟合

中图分类号: 0657.32; 0613.72; 0614.31 文献标识码: A

Determination of Trace Aluminum in High-purity Silicon with Chrome Azurol S Spectrophotometry by Nonlinear Fitting

FU Cui-li, LU Cheng-hao, ZHANG Rong, HUANG Ping-ping, WU Hao,
LUO Xue-tao, LI Jin-tang*

(College of Materials, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Spectrophotometry with chrome azurol S is one of the methods used to determine aluminum content in silicon. Since the standard curve is linear but does not pass through the origin, it leads to a large measurement error with low aluminum content. In order to improve the accuracy and decrease the detection limit, the spectrophotometric aluminum standard curve was analyzed in the low Al content part and the effect of different models on the data accuracy is discussed in this paper. Results indicate the absorbance of aluminum standard solution at 0 - 0.3 $\mu\text{g/mL}$ did not match with the linear relation, while the function of $y = 17.45230x^3 + 10.42883x^2 + 1.04047x$ (y for absorbance deduct blank, x for aluminum concentration) yielded good results where R^2 reached 0.99975. This formula was evaluated by the certified aluminum content in different volume polysilicon solutions. The relative standard deviation is 2.55%. The result matches the one obtained by the inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy method. This method can improve the measurement accuracy of low content aluminum in polysilicon when the content of aluminum is greater than 0.55 $\mu\text{g/g}$.

Key words: high-purity silicon; aluminum; chrome azurol S spectrophotometry; standard curve; function fitting

收稿日期: 2011-08-01; 接受日期: 2011-08-31

基金项目: 福建省自然科学基金项目 (2010J05120)

作者简介: 傅翠梨, 硕士研究生, 从事矿物测试分析研究。E-mail: phoebe2948@sina.com。

通讯作者: 李锦堂, 助理教授, 从事太阳能级多晶硅冶金提纯技术研究。E-mail: leejt@xmu.edu.cn。

随着太阳能光伏产业的发展, 硅中杂质含量的测定显得益发重要。硅中有害的杂质元素之一是铝, 其含量的测定方法主要包括电感耦合等离子体发射光谱法(ICP - AES)^[1]、等离子体质谱法(ICP - MS)^[2]、辉光放电质谱法(GDMS)^[3]和光度法^[4]。前 3 种方法的灵敏度较高, 其中 ICP - AES 法的检出限为 23 ng/g^[1], ICP - MS 法的检出限为 28 ng/kg^[2], GDMS 法的检出限为 1 ng/kg^[5]。ICP - AES 法检测时, 未知和复杂基体的光谱干扰严重^[6]; ICP - MS 法检测时, 谱图干扰严重, 数据精密度没有 ICP - AES 法好^[6]; GDMS 法具有超低检测限, 干扰较小^[7]。这 3 种方法虽然可以用来检测太阳能级硅或半导体级硅中的铝杂质, 但所用仪器价格相对昂贵^[6-7]。光度法虽然经济, 但常规的方法只适用于纯度为 99% 左右的工业硅中铝杂质的测定^[8-10]。因此需要研究一种快速准确、经济实用的铝杂质测定方法。

铬天青 S 光度法及其各种添加表面活性剂的改进方法已经广泛用于测定各种材料中的微量铝^[11-18]。常规的铬天青 S 法, 其线性范围并不是从零开始^[18-20]。这是由于该方法的铝标准曲线虽为线性关系, 但严重偏离原点, 导致低铝含量测定结果不准确。靳晓珠^[21]选择 568 nm 为测定波长, 铝标准曲线经过原点且线性良好, 但 568 nm 不是最大吸收波长, 灵敏度较低。何发林等^[20]用高氯酸的二次冒烟消除氟离子对铝的干扰, 准确地测定纯度为 99.99% 多晶硅中铝的含量, 但只能测定含量在 5 μg/g 以上的铝杂质。

本文通过采用三次函数关系式 $y = ax^3 + bx^2 + cx$ (y 为扣空白的吸光度, x 为铝的质量浓度) 拟合铝标准曲线, 提高了低浓度铝测定的准确性。该方法可用于测定高纯硅中含量在 0.55 μg/g 以上的铝杂质, 具有实际应用意义。

1 实验部分

1.1 仪器及工作条件

752 型紫外可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司), 配有比色皿架, 1 cm 石英比色皿。紫外可见分光光度计的工作参数为仪器全自动调谐优化给出, 满足仪器安装标准要求的灵敏度、稳定性等各项指标。本实验所采用的工作波长为 545 nm, 采用 1 cm 石英比色皿。

1.2 主要试剂

铝标准储备溶液(250 μg/mL): 光谱纯铝片置

于烧杯中, 用 10% (体积分数) 的 HCl 浸溶 10 min, 使表面氧化层溶解, 用倾泻法倒去 HCl, 以水洗涤 3 次后, 再用无水乙醇洗涤 3 次, 然后放入干燥器中干燥, 准确称取加工后的铝片 0.250 g, 置于聚乙烯烧杯中, 加入约 20 mL 水、3.0 g NaOH, 待反应完全后, 用 50% 的 HCl 慢慢中和至出现沉淀并过量 20 mL, 冷却后移入 1000 mL 容量瓶内, 用水稀释至刻度, 混匀。

铝标准溶液(5 μg/mL): 移取 10 mL 铝标准储备溶液于 500 mL 容量瓶中, 加入 4.0 mL 50% 的 HCl, 用水稀释至刻度, 混匀。

铝标准溶液(0.5 μg/mL): 取 10 mL 5 μg/mL 的铝标准溶液于 100 mL 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 混匀。

抗坏血酸溶液(10 g/L), 用时现配。

六亚甲基四胺溶液(300 g/L)。

铬天青 S - 乙醇溶液(0.3 g/L): 称取 0.150 g 铬天青 S(天津市光复精细化工研究所) 于 500 mL 烧杯中, 加水和无水乙醇各 12.5 mL, 溶解后加入 237.5 mL 水, 用无水乙醇稀释至 500 mL, 混匀。

HF、HNO₃、HClO₄、HCl。

所用试剂均为分析纯以上, 实验用水为去离子水。

1.3 实验方法

1.3.1 标准曲线的绘制

移取 0、1、2、3、4、5、6、8、10、12 mL 的 0.5 μg/mL 铝标准溶液, 1.5、2.5、3 mL 的 5 μg/mL 铝标准溶液, 分别置于一组 50 mL 容量瓶内, 用水稀释至约 15 mL。依次加入 2.5 mL 抗坏血酸溶液、5 mL 铬天青 S - 乙醇溶液、2.5 mL 六亚甲基四胺溶液, 每加入一种试剂均需混匀。最后加水定容, 混匀。放置 15 min 后, 将上述溶液移入 1 cm 比色皿中, 于分光光度计在波长 545 nm 处测量其吸光度。以铝的质量浓度为横坐标 x , 测得吸光度减去空白溶液的吸光度为纵坐标 y , 绘制 Al 的标准曲线。

1.3.2 试液制备及铝含量的测定

参照文献[20]称取 1.000 g 硅粉样品, 置于聚四氟乙烯坩埚中, 加入 15 mL HF 和 6 mL HNO₃ (分 6 次缓慢地滴入坩埚中), 反应结束后再把坩埚置于加热板上加热直至坩埚中的溶液蒸发至只剩一滴时, 取出坩埚冷却。然后在坩埚中加入 3 mL HClO₄, 加热蒸发, 当冒尽高氯酸烟时, 取出, 冷却后再加 3 mL HClO₄, 继续将坩埚加热直至溶液蒸干, 蒸干后将坩埚取出, 冷却。最后加入 5 mL 10% 的

HCl 将蒸干的固体溶解,完全溶解后将溶液移至 50 mL 容量瓶中定容。

移取一定量的硅试液(移取量视样品浓度而定)于 50 mL 容量瓶内,用水稀释至约 15 mL。以下按 1.3.1 中标准曲线绘制之步骤进行,在分光光度计波长 545 nm 处测量其吸光度 A 。实验中随同硅试样进行空白试验。空白试验与试样测定采用完全相同的试剂和分析步骤,并进行平行操作,测得的吸光度记为空白吸光度 A_0 。根据吸光度,利用标准曲线计算的铝的质量浓度,按式(1)计算出高纯硅中铝的含量 $w(\text{Al})$,单位为 $\mu\text{g/g}$ 。

$$w(\text{Al}) = \frac{\rho_1 \times V_2 \times V \times n}{m \times V_1} \quad (1)$$

式中, ρ_1 —自标准曲线上计算的铝的质量浓度 ($\mu\text{g/mL}$); V —样品溶液总体积 (mL); V_1 —移取样品溶液体积 (mL); V_2 —测试所配溶液的的总体积 (mL); n —试液稀释倍数; m —高纯硅的质量 (g)。

2 结果与讨论

2.1 铝标准曲线的拟合

以铝的质量浓度为横坐标 x ,测得吸光度减去空白溶液的吸光度为纵坐标 y 作图,如图 1(a)。对其进行正比例函数和一次函数拟合,可以看出大部分实验点不在所拟合的直线上。铝与铬天青 S 在弱酸性溶液中,形成 1:1、1:2 或 1:3 的络合物^[22-24],其在 545 nm 波长处摩尔吸光系数,各种文献报道的也不尽相同,有 3.6×10^4 ^[16]、 5.93×10^4 ^[25]、 5.2×10^4 ^[25]、 4×10^4 ^[25]、 4.32×10^4 ^[10] 和 6.2×10^4 ^[19] 等。铝与铬天青 S 络合物的结构组成会随着铝浓度的变化而变化,铬天青 S-铝络合物溶液不服从比尔定律^[26]。因此,本文认为在 0~0.3 $\mu\text{g/mL}$ 范围内,吸光度与铝浓度的关系是非线性的,不采用线性拟合铝标准曲线^[27],而是分别采用指数函数、二次函数(设截距为 0)、三次函数(设截距为 0)拟合。求得回归方程和拟合相关系数 (R^2) 值列

表 1 不同函数关系的拟合结果

Table 1 The fitting results of different functions

函数关系	回归方程	铝浓度为 0~0.3 $\mu\text{g/mL}$ 的拟合				铝浓度为 0~0.06 $\mu\text{g/mL}$ 的拟合			
		a	b	c	相关系数 R^2	a	b	c	相关系数 R^2
正比例函数	$y = ax$	2.40875			0.98528	1.40330			0.98681
一次函数	$y = ax + b$	2.66776	-0.04682		0.99077	1.55000	-0.00636		0.97934
指数函数	$y = ae^{-x/b} + c$	1.04810	-0.52097	-1.06979	0.99769	0.06549	-0.06756	-0.06649	0.99877
二次函数	$y = ax^2 + bx$	3.54538	1.60647		0.99804	12.07589	0.81808		0.99970
三次函数	$y = ax^3 + bx^2 + cx$	-17.45230	10.42883	1.04047	0.99975	-61.25356	17.30159	0.71797	0.99972

于表 1。从中可以看出用三次函数关系拟合得最好,其回归方程为 $y = -17.45230x^3 + 10.42883x^2 + 1.04047x$, R^2 值达到 0.99975。

上述所涉及标准曲线点太多,可操作性不强。因此,集中在低浓度范围内(0~0.06 $\mu\text{g/mL}$),将曲线点减少后,按照上述方法进行拟合,结果如图 1(b)所示。求得回归方程和拟合相关系数 R^2 值列于表 1 中。从表 1 可以看出,用三次函数关系拟合得最好,其回归方程为 $y = -61.25356x^3 + 17.30159x^2 + 0.71797x$, R^2 值达到 0.99972。

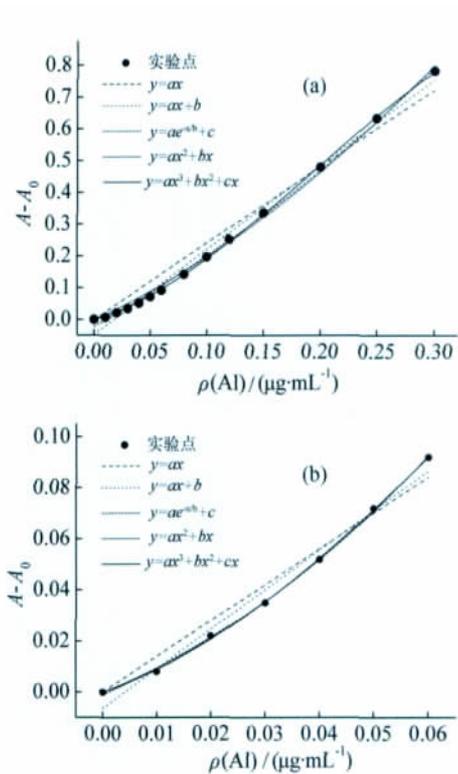


图 1 铝标准曲线的不同函数关系拟合

Fig. 1 Fitting of aluminum standard curve by different functions

铝浓度分别为 0~0.3 $\mu\text{g/mL}$ 和 0~0.06 $\mu\text{g/mL}$ 的三次函数拟合,虽然回归方程不同,但是铝浓度在 0~0.1 $\mu\text{g/mL}$ 时,两条曲线几乎重合,如

图 2 所示。从图 2 可以看出, 三次函数 $y = -61.25356x^3 + 17.30159x^2 + 0.71797x$ 在铝浓度为 $0 \sim 0.3 \mu\text{g}/\text{mL}$ 时, 扣空白吸光度先增大后减少, 与实际情况有较大的偏差, 因此该曲线不适合铝浓度为 $0.1 \sim 0.3 \mu\text{g}/\text{mL}$ 的溶液中铝含量的检测。而三次函数 $y = -17.45230x^3 + 10.42883x^2 + 1.04047x$ 有更广泛的适用范围。因此接下来的分析采用铝浓度为 $0 \sim 0.3 \mu\text{g}/\text{mL}$ 的拟合。

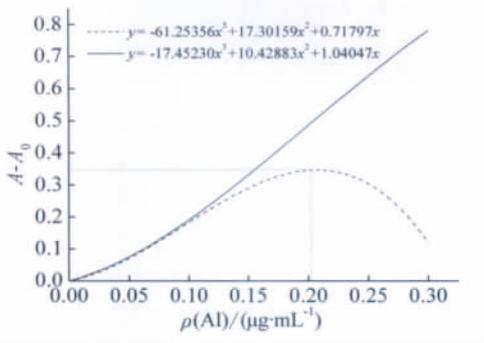


图 2 三次函数回归方程比较

Fig. 2 Image of regression equation by cubic function

2.2 实验检验

为了检验所拟合的铝标准曲线是否适用于硅中铝含量的测定。对某工业硅试液稀释 10 倍, 然后分别取 0、1、2、3、4、5、6、7、8、10、15 mL 稀释后的硅试液, 进行铝含量测试。分别采用正比例函数、一次函数、指数函数、二次函数和三次函数拟合的回归方程, 按式(2)~(6)计算自标准曲线上计算的铝的质量浓度 ρ_1 。

式(2)~(6)中, A —样液吸光度; A_0 —空白吸光度; a 、 b 、 c —各回归方程中的 a 、 b 、 c 值。

$$\text{正比例函数拟合: } \rho_1 = \frac{A - A_0}{a} \quad (2)$$

$$\text{一次函数拟合: } \rho_1 = \frac{A - A_0 - b}{a} \quad (3)$$

$$\text{指数函数拟合: } \rho_1 = -b \times \ln\left(\frac{A - A_0 - c}{a}\right) \quad (4)$$

$$\text{二次函数拟合: } \rho_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4a \times [-(A - A_0)]}}{2a} \quad (5)$$

三次函数拟合:

$$\rho_1 = -\frac{b}{3a} + \left(-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i\right) \times \sqrt[3]{-\frac{27a^2(A_0 - A) - 9abc + 2b^3}{54a^3}} + i \sqrt[3]{-\left(\frac{27a^2(A_0 - A) - 9abc + 2b^3}{54a^3}\right)^2 - \left(\frac{3ac - b^2}{9a^2}\right)^3} + \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i\right) \times \sqrt[3]{-\frac{27a^2(A_0 - A) - 9abc + 2b^3}{54a^3}} - i \sqrt[3]{-\left(\frac{27a^2(A_0 - A) - 9abc + 2b^3}{54a^3}\right)^2 - \left(\frac{3ac - b^2}{9a^2}\right)^3} \quad (6)$$

按式(1)进行铝含量的计算, 结果如图 3 所示。从图 3 可以看出, 采用三次函数拟合铝标准曲线计算的铝含量较为稳定。而其他函数关系拟合铝标准曲线计算的铝含量, 在所取硅试液量较少时, 出现较大的偏差。

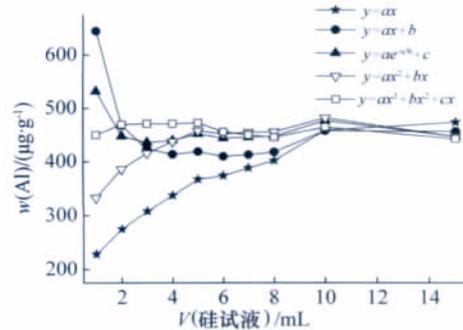


图 3 不同函数关系拟合铝标准曲线计算的铝含量

Fig. 3 Concentration of aluminum determined by function fitting aluminum standard curve

不同函数关系拟合铝标准曲线计算的铝含量的平均值和相对标准偏差(RSD)列于表 2。采用正比例函数拟合的效果最差, 其 RSD 达到 21.34%, 采用三次函数拟合的效果最好, RSD 只有 2.55%, 其平均值为 $460 \mu\text{g}/\text{g}$, 与采用 ICP - AES 的测定值 ($476 \mu\text{g}/\text{g}$) 最接近。采用一次函数拟合的结果 ($453 \mu\text{g}/\text{g}$) 较好, 但 RSD 值高。因此高纯硅中铝的含量 $w(\text{Al})$ 的计算公式(1)中, 自标准曲线上计算的铝的质量浓度 ρ_1 应采用三次函数关系式(6)进行计算。

2.3 方法检测限和回收率

752 型紫外可见分光光度计的吸光度读数精确到小数点后三位, 因此 $A - A_0$ 的最小值为 0.001。考虑到测试时, 最后一位读数会上下波动, 因此取 $A - A_0$ 的最小值为 0.01。假设样液体积最小为 50 mL, 硅粉质量为 1.000 g, 移取样液体积最大为 40 mL, 样液稀释倍数为 1, 按式(1)可得到该方法的最低检测含量为 $0.55 \mu\text{g}/\text{g}$ 。

通过对实际样品的标准加入回收试验考察方法的准确度, 结果列于表 3。加标回收率为 98% ~ 101%, 说明该方法具有良好的准确性。

表 2 各个函数关系拟合铝标准曲线计算的铝含量的平均值和 RSD

Table 2 Average values and RSD of the aluminum content determined by each function fitting aluminum standard curve

函数关系	测定平均值	
	$w(\text{Al}) / (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	
正比例函数	361	21.34
一次函数	453	15.68
指数函数	457	6.25
二次函数	432	10.09
三次函数	460	2.55

3 样品分析

采用铬天青 S 光度法对 3 个高纯硅样品中的微

表 4 高纯硅样品中铝的分析

Table 4 Analytical results of Al in high-purity silicon samples

样品 编号	本法					文献[18]方法					ICP - AES 测定值 $w(\text{Al}) / (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$
	$w(\text{Al}) / (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$					$w(\text{Al}) / (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$					
	分次测定值		平均值			RSD/%		分次测定值		平均值	
1	1.03	1.08	0.99	1.03	4.36	1.23	1.25	1.27	1.25	1.06	
2	4.27	4.29	4.32	4.29	0.59	3.01	3.03	3.05	3.03	4.31	
3	2.56	2.60	2.63	2.60	1.35	1.98	2.00	2.02	2.00	2.62	

4 结语

建立了高纯硅中微量铝的精确测定方法。通过采用 $y = -17.45230x^3 + 10.42883x^2 + 1.04047x$ (y 为扣空白的吸光度, x 为铝的质量浓度) 函数关系式拟合铝标准曲线, 提高了铬天青 S 光度法的检测限。该方法结果准确可靠, 可用于测定高纯硅中含量在 $0.55 \mu\text{g/g}$ 以上的铝杂质。

5 参考文献

- [1] 沙艳梅. 电感耦合等离子体发射光谱法测定工业硅中微量元素[J]. 岩矿测试, 2009, 28(1): 72-74.
- [2] Takahashi J. Determination of metal impurities present in solar-grade bulk silicon by ORS-ICP-MS [J]. *American Laboratory* 2009, 41(7): 28-30.
- [3] Di Sabatino M, Dons A L, Hinrichs J, Amberg L. Determination of relative sensitivity factors for trace element analysis of solar cell silicon by fast-flow glow discharge mass spectrometry [J]. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 2011, 66(2): 144-148.
- [4] GB/T 14849.2-2007, 工业硅化学分析方法 第 2 部分: 铝含量的测定; 铬天青 S - 分光光度法[S].
- [5] 杨南生. 辉光放电质谱新技术在分析化学上的应用

表 3 加标回收率

Table 3 Spike recoveries of the method

样品	$w(\text{Al}) / (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$			回收率 R/%
	本底值	加入量	测定值	
高纯硅		1.00	2.02	99.03
	1.03	3.00	4.04	100.97
		5.00	6.01	98.06

量铝进行测定。铝含量分别采用本法和文献[18]中所用的一次函数拟合标准曲线法计算, 并与 ICP - AES 法测定结果对比, 结果见表 4。从表 4 可以看出, 本方法测定结果准确可靠, 与 ICP - AES 法相吻合。

- [6] 邓晓庆. FAAS、GFAAS、ICP - AES 和 ICP - MS 4 种分析仪器法的比较 [J]. 云南环境科学, 2006, 25(4): 56-57.
- [7] 杨旺火, 李灵锋, 黄荣夫, 杭纬, 李宁. 太阳能级晶体硅中杂质的质谱检测方法 [J]. 质谱学报, 2011, 32(2): 121-128.
- [8] 李清霞, 谭林青. 分光光度法测定工业硅中铁、铝 [J]. 山东冶金, 1994, 16(3): 15-16.
- [9] 张爱勤. 分光光度法测定工业硅中铝铁 [J]. 广东化工, 1997(4): 58-59.
- [10] 唐华应. 铬天青 S 光度法同时测定工业硅中铁和铝量 [J]. 四川冶金, 1999(1): 49-51.
- [11] 李景梅, 贾宝山, 翟庆洲, 田丽霞. 分光光度法测定铝的进展 [J]. 岩矿测试, 2006, 25(1): 64-67.
- [12] 李玉珍, 陈德勋. 环境样品中铝的形态分析 [J]. 岩矿测试, 1999, 18(4): 241-246.
- [13] 吴丽香, 张起凯, 邵凤琴, 霍秀丽. 聚乙二醇萃取 - 铬天青 S 光度法测定原油及润滑油中的铝 [J]. 理化检验: 化学分册, 2001, 37(2): 73-74.
- [14] 马莎, 尹家元, 曹槐, 余定学, 周俊杰, 张鄞. 滇池水中铝的形态分布初探 [J]. 岩矿测试, 2002, 21(2): 120-124.

- [15] 沈春玉. 铬天青 S 分光光度法测定聚乙烯树脂中铝 [J]. 冶金分析, 2007, 27(8): 76-78.
- [16] 周智明, 曹亚惠, 赵道远, 杨明敏, 徐水平. 单晶硅原料中铝的分离和测定 [J]. 理化检验: 化学分册, 2007, 43(11): 920-921.
- [17] 林木宁. 铬天青 S-OP-CPB 分光光度法测定食品中铝 [J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(6): 1568-1570.
- [18] 雷利珑, 沈九凤, 赵洁梅. 铬天青 S 光度法测定硅铁中的铝 [J]. 光谱实验室, 2008, 25(3): 398-400.
- [19] 高惠芬, 毕玉琴, 张锡同, 张琬. 合金中铝的快速测定 [J]. 冶金分析, 1988, 8(6): 49-50.
- [20] 何发林, 陈文辉, 罗学涛, 陈朝. 分光光度法测定高纯硅中铁和铝 [J]. 冶金分析, 2010, 30(10): 62-65.
- [21] 靳晓珠. 工业硅中铝的测定 [J]. 矿产与地质, 2000, 14(2): 124-126.
- [22] 宋楠. 铬天青 S-CTMAB 分光光度法测定微量铝 [J]. 口岸卫生控制, 2003, 8(3): 4-5.
- [23] 孙淑媛, 孙龄高, 殷齐西, 符斌. 矿石及有色金属分析手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990: 121.
- [24] 刘英, 臧慕文. 金属材料分析原理与技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 137.
- [25] 陈国珍, 黄贤智, 刘文远, 郑朱梓, 王尊本. 紫外-可见光分光光度法(下册) [M]. 北京: 原子能出版社, 1987: 14.
- [26] Marczenko Z. 元素的分光光度测定 [M]. 北京: 地质出版社, 1983: 109.
- [27] 陈国珍, 黄贤智, 刘文远, 郑朱梓, 王尊本. 紫外-可见光分光光度法(上册) [M]. 北京: 原子能出版社, 1983: 159-160.

中国地质学会 2011 年度十大地质科技进展和十大地质找矿成果

2012 年 1 月 9 日, 中国地质学会组织行业专家院士召开评审会议, 评选产生了 2011 年度全行业十大地质科技进展和十大地质找矿成果。本届评选从全国各常务理事单位、各分支机构、各省级地质学会等审核、推荐的 152 项合格候选项目中产生, 其中科技进展组 86 项、找矿成果组 66 项。评选委员会由来自国土资源部、教育部、中国科学院等部门, 冶金、有色、核工业、煤炭、化工等行业, 中石油、中石化、中国水电工程等单位的 41 位两院院士、专家组成。中国地质学会常务副理事长孟宪来任评选委员会主任。经过公开公正、认真严谨的评审和投票, 评选出 2011 年度十大地质科技进展和十大地质找矿成果。

十大地质科技进展是(排名不分先后): 提出冰期-间冰期印度夏季风动力学; 大油气区成藏理论、物探技术创新与储量快速增长; 时间域固定翼航空电磁勘查系统研发; 长江三角洲地区地下水污染调查评价; 山东省胶西北金矿集中区深部大型-超大型金矿找矿与成矿模式研究; 我国钾盐找矿规律新认识和进展; 全国铀矿资源潜力评价; 埃迪卡拉纪早期“蓝田生物群”; 中国海相碳酸盐岩层系油气富集规律与分布预测; 华南中生代构造变形序列与动力学分析。

十大地质找矿成果是(排名不分先后): 西藏自治区山南地区泽当矿田铜多金属矿普查; 云南省鹤庆北衙多金属矿详查(四期); 内蒙古二连盆地努和廷铀矿床详查及外围评价; 贵州省开阳磷矿洋水矿区东翼深部普查; 鄂尔多斯盆地姬塬油田勘探新突破; 川东北海相勘探元坝勘探子项目; 内蒙古自治区东胜煤田车家渠-一连寨子-杭东地段煤炭普查; 辽宁省辽阳市弓长岭铁矿接替资源勘查; 安徽省金寨县沙坪沟斑岩型钼矿详查“中电投几内亚共和国 3650 号矿区铝土矿勘探”项目。

本年度十大地质科技进展和十大地质找矿成果候选项目的情况具有以下特点。

一是项目专业分布广泛。科技进展组中涉及基础地质、矿床地质、油气地质、煤田地质、物化探及方法技术、水工环等多个专业; 找矿成果组中涉及金属矿产、非金属矿产、石油天然气、煤炭煤层气等多个领域。

二是项目来源单位覆盖面大。各单位广泛组织动员成果材料征集, 推荐的项目来源于高校及科研院所、有色、冶金、化工、建材、煤炭、黄金、石油、石化、海油、核工业、国土资源部系统和基层地勘单位及矿业公司, 具有较高的覆盖面, 充分体现了“双十”评选工作广泛性、公开性。

三是候选项目实力普遍较强。从初步审查来看, 候选项目基本上都是各系统、各部门推荐的科研、生产等领域的年度地质重大科技进展与找矿成果, 能够在全行业推广地质找矿新思路新方法、推出典型案例、加快科技成果的转化与应用等方面, 发挥较强的引领、带动作用。

(来源: 中国地质学会)