文章编号: 0254-5357(2016)04-0378-06

DOI: 10.15898/j. cnki. 11 - 2131/td. 2016. 04. 007

电感耦合等离子体质谱法测定铅合金中的微量杂质元素镉和锡

郝原芳¹,刘 新²,宋丽华¹,李丽君¹,徐英奎¹* (1.中国地质调查局沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110032;

2. 东北煤田地质局沈阳测试研究中心, 辽宁 沈阳 110016)

摘要: 铅合金中的镉和锡由于含量较低,国家标准方法均为单一元素分析,步骤繁琐,检出限高,难以达到理想的检出要求。本文建立了应用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定铅合金中微量级(μg/g 级)杂质元素镉和锡的分析方法。采用单一的低浓度硝酸溶解铅合金,用低温慢溶的方式使样品溶解更加完全,减少了多离子对仪器的干扰;通过铅基体匹配和加入酒石酸保证了标准与样品介质的一致性,同时避免了锡的水解;以¹⁰³Rh 作为内标元素,¹¹¹Cd 和¹¹⁸Sn 作为测量同位素克服了质谱干扰。方法检出限为镉 0.05 ng/g、锡 0.04 ng/g,比国家标准方法的检出限(1~6 μg/g)低,精密度小于4%。该方法试剂用量少,减少了处理样品的复杂性,实现了合金中微量级元素的准确测定。

关键词:铅合金;镉;锡;酒石酸;电感耦合等离子体质谱法 中图分类号:0614.242;0614.432;0657.63 文献标识码:B

铅合金是一种低熔点合金,广泛应用于化工防 蚀、射线防护、电缆和蓄电池等产品及设备,其杂质 成分是确定其品质的直接依据,也对其产品的性能 和质量产生决定性影响。据统计,70%的铅用于铅 酸电池^[1],当杂质含量高时,电池自放电增加,水损 失增加,电池容量下降,使用寿命缩短^[2],因此准确 测定铅合金中的杂质成分具有十分重要的意义。

目前,铅合金化学分析方法有国家标准 GB/T4103.14—2009采用火焰原子吸收光谱法测定 镉,其检出限为1µg/g,GB/T4103.1—2012采用原 子荧光光谱法(AFS)和苯芴酮光度法(COL)测定 锡,其中AFS方法检出限为1µg/g,COL方法检出 限为6µg/g,而且均为单一元素分析,分析步骤十 分繁琐,且普遍存在线性范围小、受实验条件影响 大、稳定性差、检出限高和分析效率低等缺点,难以 满足快速检测的要求。与传统分析方法相比,电感 耦合等离子体质谱法(ICP – MS)的分辨率高、简便 快速,能够实现一次溶样多元素同时测定,更适合于 测定各种复杂基体的冶金产品。近年来采用 ICP – MS 测定高纯金属及合金中的杂质成分已有较多的 报道^[3-8],本文建立了采用 ICP – MS 测定铅合金中 微量杂质元素镉、锡的分析方法,用单一的低浓度硝 酸溶解铅合金样品,以低温慢溶的方式使合金溶解 更完全,采用标准和样品同时加铅基体消除基体 干扰,提高了此类样品分析的准确度。

1 实验部分

1.1 仪器及工作条件

X-Series II 电感耦合等离子体质谱仪(美国 ThermoElement 公司)。经优化的仪器工作条件为: 射频功率 1320 W,冷却气(Ar)流量 13.5 L/min,载 气(Ar)流量 1.0 L/min,雾化气(Ar)流量 0.86 L/min,采样锥(Ni)孔径 1.0 mm,截取锥(Ni)孔径 0.7 mm,测量方式为跳峰,扫描次数 60,采集时间 0.5 s,真空度小于 1×10⁻⁷ Pa,采样深度 100step, 进样泵泵速 100 r/min。

高纯氩气(纯度不低于99.995%)。

1.2 标准溶液和主要试剂

镉、锡、铑标准储备溶液(1 mg/mL),由国家有色 金属及电子材料分析测试中心研制。标准工作溶液 由储备溶液逐级稀释成浓度为1 μg/mL。

硝酸、硫酸均为优级纯,高纯铅(99.99%),

收稿日期: 2015-06-04; 修回日期: 2016-05-22; 接受日期: 2016-07-15

作者简介:郝原芳,高级工程师,主要从事岩矿分析测试工作。E-mail: 453865416@ qq. com。

通讯作者:徐英奎,工程师,从事矿物结构研究。E-mail: 457399910@ qq. com。

酒石酸(分析纯)。

二次去离子水(电阻率≥18 MΩ・cm)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品分解

称取 0. 2000 g 铅合金样品置于 150 mL 烧杯 中,加入 20 mL 25% 硝酸和 2 g 酒石酸,低温加热, 待试样完全溶解后,取下冷却,转移至 200 mL 容量 瓶中,用水稀释至刻度,摇匀。

1.3.2 标准工作曲线

(1)未加铅:用标准工作溶液(1 μg/mL)配制
 镉、锡质量浓度分别为 0.00、1.00、10.0、100 μg/L
 (含 2.5% 硝酸和 1% 酒石酸介质)的标准系列。

(2)加铅:称取 0.1000 g 高纯铅 4 份分别置于 150 mL 烧杯中,加入 10 mL 25% 硝酸低温加热,待 试样完全溶解后,转移至 100 mL 容量瓶中,逐一加 1 g 酒石酸。再分别加入镉、锡混合标准溶液 (1 μg/mL)0.0、0.1、1.0、10.0 mL,用水稀释至刻 度,摇匀。此标准系列中的镉、锡质量浓度分别为 0.00、1.00、10.0、100 μg/L。

1.3.3 ICP-MS测定

待 ICP - MS 仪器在最佳条件下稳定 30 min 后,先测定加铅基体的标准工作曲线,再对样品溶液进行测定。

2 结果与讨论

2.1 溶剂的选择

铅合金样品中锡的测定采用两种溶剂进行试验:一种如1.3.1节采用25%硝酸溶样;另一种用 硫酸溶样:称取1g铅合金样品,加入浓硫酸10 mL, 高温溶解1.5 h,完全溶解后转移至100 mL 容量瓶 中,静置过夜。分取上清液20 mL在250 mL 烧杯中 置于电热板上蒸至近干,加入20 mL25%硝酸溶解 盐类,转移至200 mL 容量瓶中,加入2 g酒石酸,定 容,摇匀。将配制的两套试液对应相同基体的标准 工作曲线上机测定。从测定结果来看两种溶剂的溶 解效果差别不大,表明只要控制待测样品与标准工 作曲线基体一致,完全可以得到准确结果。但考虑 到硫酸溶解的流程较长,废气排量较多,前期处理工 作繁琐,本文确定用25%硝酸溶解方法分解样品。

2.2 硝酸和酒石酸对仪器的影响

2.2.1 硝酸加入量试验

为了控制酸度对仪器的影响,本实验对25% 硝酸加入量进行试验。依次加入25% 硝酸10、20、40、60、80 mL,结果表明25% 硝酸的加入量在20~40

mL时,镉、锡的测定结果更接近于标准值,对仪器测 定无明显影响。本实验选择25%硝酸的加入量为 20 mL,即酸度为2.5%硝酸。

2.2.2 酒石酸用量试验

ICP – MS 同时测定镉、锡时,发现在酸性溶液中 Sn⁴⁺易发生水解形成锡酸沉淀^[9],导致锡的测量结 果偏低。根据酒石酸与锡可以形成稳定络合物的特 点,本试验确定在酸性溶液中加入酒石酸。

那么,酒石酸的加入是否会对镉的测定产生影 响?对此实验进一步确定。首先采用在镉含量不同 (按照取样量换算镉含量分别为5μg/g、10μg/g、 20μg/g)的铅溶液中加入不等量酒石酸进行试验。 结果表明:随着酒石酸量的增加,镉的测定结果没有 明显变化(见图1a)。然后用3个铅合金标准物质 (BYG-03-8-1、BYG-03-8-3、BYG-03-8-4, 锡含量分别为2.5μg/g、9.0μg/g、21.0μg/g)对锡 进行试验,结果表明随着酒石酸加入量的增加,锡的 测定结果明显增高(见图1b),表明酒石酸不仅对锡 有防止水解的作用,而且增加锡在溶液中的分散性, 从而提高了测试灵敏度。但考虑到酒石酸盐量大, 容易堵塞雾化器,故确定酒石酸加入量为1%。



图 1 酒石酸量对镉和锡测定的影响

Fig. 1 Effect of tartaric acid on the determination of (a)Cd and (b)Sn

2.3 基体的干扰及消除

2.3.1 铅基体的干扰

高浓度的基体元素对仪器测定会造成一定程度 的基体抑制与信号漂移。已有研究表明采用基体匹 配^[10]可有效降低基体效应。

本方法进行了铅基体对测定镉、锡元素的干扰试验。制作两组镉、锡混合标准曲线:一组为不加铅基体;另一组为加入与铅合金样品相匹配的铅基体。如1.3.2节(2)方法,按照选定的仪器测定条件,在两组标准系列下测定铅合金样品,得出结果见表1,可见由于基体影响,不含铅基体的曲线测量的样品结果明显偏低。故本试验确定采用在标准曲线中加入匹配的铅基体,予以消除基体干扰。如此不但有效改善了 ICP – MS 仪器的稳定性,而且消除了仪器信号漂移造成的影响,使镉、锡的实测值更接近于标准值。

表 1 基体效应试验结果

Table 1 Analytical results of the matrix effect

| 加入的积量 | C | Zd | Sn | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--|--|
| 加八的拓重 (g) | 标准值 | 实测值 | 标准值 | 实测值 | | |
| | (µg⁄g) | (µg⁄g) | (µg/g) | (µg⁄g) | | |
| 0 | 10.0 | 5.48 | 21.0 | 11.28 | | |
| 0.2 | 10.0 | 9.93 | 21.0 | 21.03 | | |
| 0 | 20.0 | 10.82 | 62.0 | 34.81 | | |
| 0.2 | 20.0 | 19.64 | 62.0 | 61.75 | | |

2.3.2 多原子离子干扰

多原子离子干扰是由等离子体中组分与样品本 身和使用试剂相互作用而形成的。一方面现代 ICP - MS 的软件设计可以方便地进行仪器调谐,通过仪 器的最佳化能使多原子离子干扰降为最低;另一方 面本实验通过减少试剂用量,用单一的 25% 硝酸分 解样品,减少多离子参与,避免了多原子离子对 ICP - MS 测定痕量镉、锡造成影响。

2.4 内标元素和分析同位素的选择

测定过程中加入内标可以监控和校正信号的漂移,对基体效应有补偿作用^[11]。内标选择的原则是 丰度高,无干扰,质量数与被测元素相近。本文选 择¹⁰³Rh 作为内标元素,¹⁰³Rh 的加入校正了合金中 基体对被测元素信号抑制的差异,并消除了仪器信 号漂移造成的误差。

本文从仪器提供的同位素中选出相对强度较大的几个,同时考虑可能的基体干扰及被测元素之间的相互干扰,并满足镉、锡同时测定的需要。Cd选择三个同位素:¹¹¹Cd(12.86%)、¹¹²Cd(23.79%)、 - 380 — ¹¹⁴Cd(28.81%),¹¹¹Cd存在⁷¹Ga⁴⁰Ar、⁹⁴Zr¹⁶O¹H的干扰,但⁷¹Ga、⁹⁴Zr在本实验合金中非主量元素,⁴⁰Ar的干扰是仪器不可避免的,一般用仪器的数学干扰因子校正,¹⁶O¹H的丰度较小,因此其对¹¹¹Cd的干扰可以忽略。而¹¹²Cd和¹¹⁴Cd中有¹¹²Sn、¹¹⁴Sn的同质异位素干扰,造成被测元素之间的相互影响,本实验选择¹¹¹Cd作为测定同位素。Sn选择了三个丰度比较高的同位素¹¹⁶Sn(14.24%)、¹¹⁸Sn(24.01%)、¹²⁰Sn(32.97%),其中¹¹⁶Sn中有¹¹⁶Cd的干扰,无法达到镉、锡同时测定的目的。而¹²⁰Sn干扰元素是¹⁰³Rh¹⁶O¹H,虽然同位素分布值较高,但¹⁰³Rh为本实验的内标元素。¹¹⁸Sn存在¹⁰²Ru¹⁶O⁺的干扰,但是¹⁰²Ru不存在于合金的基体中,对本方法实验没有影响,因此选择¹¹⁸Sn作为分析同位素比较理想。

2.5 方法检出限、准确度和精密度

按照实验方法,对12个样品空白进行测定,镉、 锡分析结果的标准偏差(s)分别为0.0053 ng/g、 0.006 ng/g。同时考虑方法的稀释因子乘以3s计算 出镉、锡的方法检出限分别为0.05 ng/g、 0.04 ng/g。本方法检出限可满足合金中痕量元素分 析的要求。

对于铅合金样品中的镉,按照本文确定的方法 采用加标回收试验。在12个平行样品中加入一定 量镉标准溶液,按照实验方法进行测定,同时与石墨 炉原子吸收光谱法(GFAAS)测定结果进行比对^[12]。 如表2所示,本方法的测定值与GFAAS结果相符, 计算其相对标准偏差(RSD)为0.7%~3.5%,加标 回收率为96.5%~102.5%,说明本方法用于测定 铅合金中的镉是准确、可靠的。

选取 12 份铅合金光谱标准物质 BYG - 03 - 8, 按照实验方法进行分析,如表 2 所示,锡的测定结果 与其标准值相符,相对误差 ≤2.3%,相对标准偏差 (RSD) ≤3.8%。表明本方法完全能满足测定痕量 锡的准确度及精密度要求。

3 铅合金实际样品分析

铅合金是以铅为基体和其他 10 种杂质组分 (Ag、Cu、Bi、As、Sb、Sn、Cd、Zn、Fe、Ni)组成的, "GB/T469—2005 铅锭"要求 5 个牌号铅合金杂质 总和最低值不大于 60 μg/g,而且 Cd、Ni 未赋值。 本实验选用的 5 个铅合金样品,采用本方法测定 Cd、Sn,其他 8 种组分测定按照"GB/T4103 铅及铅 合金化学分析方法"标准方法进行,即 Ag、Cu、Bi、 As、Sb、Zn采用光电直读发射光谱法,Fe采用比色

表 2 镉和锡的精密度和准确度实验

Table 2 The accuracy and precision tests for Cd and Sn

| | Cd 的精密度 | | | Cd 的准确度 | | | | Sn 的精密度和准确度 | | | | |
|----------|--------------------------------|-------------------------|------------|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------|-------------|--|
| 样品 编号 | Cd 的 GFAAS 测定值 (µg/g) | Cd 的本法 测定值 (μg/g) | RSD (%) | Cd 加标量 (µg/g) | Cd 测定 总量 (μg/g) | 加标 回收率 (%) | 标准物质 编号 | Sn 的 标准值 (μg/g) | Sn 的本法 测定值 (μg/g) | RSD (%) | 相对误差 (%) | |
| 样品1 | 1.12 | 1.10 | 3.5 | 2.0 | 3.11 | 100.5 | BYG - 03 - 8 - 1 | 2.50 | 2.48 | 1.9 | 0.8 | |
| 样品2 | 2.19 | 2.20 | 2.4 | 2.0 | 4.13 | 96.5 | BYG - 03 - 8 - 2 | 3.50 | 3.42 | 3.8 | 2.3 | |
| 样品3 | 5.03 | 5.03 | 2.2 | 2.0 | 7.02 | 99.5 | BYG - 03 - 8 - 3 | 9.00 | 9.02 | 1.9 | 0.2 | |
| 样品4 | 9.85 | 9.78 | 1.4 | 2.0 | 11.83 | 102.5 | BYG - 03 - 8 - 4 | 21.00 | 21.09 | 2.2 | 0.4 | |
| 样品5 | 20.71 | 20.69 | 0.7 | 2.0 | 22.65 | 98.0 | BYG - 03 - 8 - 5 | 62.00 | 61.85 | 1.4 | 0.2 | |

表 3 铅合金样品中镉锡等 10 种杂质元素的分析

Table 3 Analytical results of ten impurity elements including Cd and Sn in the lead alloys

| 铅合金样品 | 杂质元素含量(µg/g) | | | | | | | | | 各杂质元素含量总和 | |
|-------|--------------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|
| 编号 | Ag | Cu | Bi | As | \mathbf{Sb} | Sn | Cd | Zn | Fe | Ni | (µg/g) |
| 样品1 | 1.00 | 3.00 | 7.00 | 2.00 | 4.00 | 2.00 | 1.00 | 3.00 | 2.00 | 1.00 | 26.00 |
| 样品 2 | 3.00 | 6.00 | 15.00 | 5.00 | 6.00 | 4.00 | 2.00 | 5.00 | 10.00 | 2.00 | 58.00 |
| 样品 3 | 7.00 | 15.00 | 29.00 | 10.00 | 10.00 | 9.00 | 5.00 | 11.00 | 20.00 | 5.00 | 121.0 |
| 样品 4 | 16.00 | 30.00 | 51.00 | 24.00 | 29.00 | 21.00 | 10.00 | 20.00 | 30.00 | 10.00 | 241.0 |
| 样品 5 | 42.00 | 60.00 | 106.0 | 61.00 | 66.00 | 62.00 | 20.00 | 51.00 | 40.00 | 25.00 | 533.0 |

法,Ni采用原子吸收光谱法。如表3所示,5个样品 中10种杂质组分含量总和的最低值仅为26.00 μg/g,说明本方法一方面可以测定低含量Cd、Sn,另 一方面合金的测定结果满足国标要求。

4 结论

本文建立的 ICP - MS 分析方法采取一次溶样, 通过加入酒石酸的方法解决了锡的水解问题,实现 了镉、锡两种痕量元素的同时测定,克服了传统方法 中各元素需要分别测定的不足。本方法简单、快速, 试剂用量少,准确度、精密度及检出限均能满足 "GB/T469—2005铅锭"要求,为合金产品中杂质组 分的测定提供了一种参考方法。

5 参考文献

- [1] 胡信国.中国铅蓄电池的市场现状与展望[J].电池工业,2006,11(3):190-193.
 Hu X G. Present Situation and Prospect of the Lead-acid Battery Market in China[J]. Chinese Battery Industry, 2006,11(3):190-193.
- [2] 杨秀艳,韩艳萍. ICP OES 法测定铅锭中微量杂质元素[J]. 蓄电池,2013(3):137 139.

Yang X Y, Han Y P. Determination of Trace Impurity Elements in Lead by ICP-OES [J]. Battery, 2013 (3): 137 – 139.

[3] 金献忠,陈建国,谢健梅.激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法测定镀锌钢板镀层中的铅镉砷锡锑[J]. 冶金分析,2012,32(3):1-6.
Jin X Z, Chen J G, Xie J M. Determination of Lead, Cadmium Arsenic Tin and Antimony in Coating Layer of

Cadmium, Arsenic, Tin and Antimony in Coating Layer of Galvanized Steel Sheet by Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry [J]. Metallurgical Analysis, 2012, 32(3):1-6.

 [4] 包香春,崔爱端. 电感耦合等离子体质谱法测定铁精 矿中铬砷镉锡锑铅铋[J]. 冶金分析,2012,32(9): 13-17.

Bao X C, Cui A D. Determination of Chromium, Arsenic, Cadmium, Tin, Antimony, Lead and Bismuth in Iron Concentrate by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry[J]. Metallurgical Analysis, 2012, 32(9): 13 – 17.

 [5] 亢德华,于媛君,王铁,等. 电感耦合等离子体质谱法 测定铸铁中镁锡镧铈锑和铅含量[J]. 冶金分析, 2011,31(6):54-57.
 Kang D H, Yu Y J, Wang T, et al. Determination of

Kang D H, Yu Y J, Wang T, et al. Determination of Magnesium, Stannum, Lanthanum, Cerium, Antimony and Lead in Cast Iron by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry[J]. Metallurgical Analysis, 2011,31(6): 54 – 57.

[6] Wang Y J, Lu R J, Ma Y Z, et al. Response to Climate Change of Different Tree Species and NDVI Variation since 1923 in the Middle Arid Region of Ningxia, China [J]. Sciences in Cold and Arid Regions, 2014, 6(1): 30 - 36.

[7] 邵坤,赵朝辉,刘卫. 沉淀基体分离-电感耦合等离子体质谱法沉淀高纯硝酸银中痕量杂质元素[J]. 岩矿测试,2014,33(1):29-33.

Shao K, Zhao C H, Liu W. Determination of Trace Impurity Elements in High Purity Silver Nitrate by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry with Precipitation Treatment[J]. Rock and Mineral Analysis, 2014,33(1):29-33.

- [8] 胡净宇,王海舟. 电感耦合等离子体质谱法测定高温合金中痕量镉和碲[J]. 冶金分析,2010,30(2):8-12.
 Hu J Y, Wang H Z. Determination of Trace Cadmium and Tellurium in Superalloy by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry [J]. Metallurgical Analysis, 2010, 30 (2):8-12.
- [9] 杨慧玲,夏辉,杜天军,等.电感耦合等离子体发射光 谱法同时测定锡钨钼铜铅锌[J].岩矿测试,2013,32
 (6):887-892.

Yang H L, Xia H, Du T J, et al. Simultaneous Determination of Sn, W, Mo, Cu, Pb and Zn in Tin Ores by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32 (6):887-892.

- [10] 陈永欣,黎香荣,谢毓群,等. 微波消解 等离子发射 光谱法测定含铜物料中9种组分[J]. 岩矿测试, 2011,30(2):200-204.
 Chen Y X,Li X R,Xie Y Q, et al. Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometric Determination of 9 Components in Materials Containing Copper with Microwave-assisted Digestion [J]. Rock and Mineral Analysis,2011,30(2):200-204.
- [11] 吴磊,曾江萍,刘义博,等. 硼酸溶液敞口酸溶-电感 耦合等离子体质谱法测定萤石中稀土元素[J]. 岩矿 测试,2014,33(1):20-24.
 Wu L,Zeng J P, Liu Y B, et al. Determination of Rare Earth Elements in Fluorite Samples by Open Boric Acid Dissolution and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis,2014,33 (1):20-24.
- [12] 杨小丽,王迪民,汤志勇.石墨炉原子吸收光谱法测 定磷矿石中微量铅和镉[J].岩矿测试,2010,29(1):
 51-54.
 Yang X L, Wang D M, Tang Z Y. Determination of

Micro-amount of Lead and Chromium in Phosphate Ores by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis,2010,29(1):51-54.

Determination of Trace Cadmium and Tin in Lead Alloys by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

HAO Yuan-fang¹, LIU Xin², SONG Li-hua¹, LI Li-jun¹, XU Ying-kui^{1*}

(1. Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang 110032, China;

2. Shenyang Testing Center, Northeast Coalfield Geology Bureau, Shenyang 110016, China)

Highlights

- A new analytical method for determination of trace Cd and Sn impurity elements in lead alloys measured by ICP-MS is established.
- Lead alloy samples are completely digested by low-concentration of nitric acid at low temperature, the mass spectrometry interferences from multiple ions are effectively reduced.
- The detection limits of the method are 0.05 ng/g Cd and 0.04 ng/g Sn, lower than those of the national standard methods.

Abstract: Due to the low concentrations of cadmium and tin in lead alloys and the single element analysis performed by using the national standard method, the analytical protocol is very complex and the detection limit is not ideal. In this paper, a new analytical method for determining trace cadmium and tin in lead alloys by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry is reported. In this method, lead alloys are digested by low-concentration of nitric acid. The low temperature and slow digestion process assures the complete dissolution of samples and reduces the mass spectrometry interferences from multiple ions. Lead matrix matching and the addition of tartrate assure the medium consistency of the standard and sample and avoid hydrolysis of the tin content. Using ¹⁰³ Rh as an internal standard and ¹¹¹ Cd and ¹¹⁸ Sn as the measuring isotopes, the mass spectrometry interferences are reduced. The detection limits of Cd and Sn are 0.05 ng/g and 0.04 ng/g, respectively, which are much lower than those of the national standard method (1 – 6 μ g/g). The precision of this method is 4.0%. This method needs a relatively small sample weight, which simplifies the analytical process and can determine trace elements in alloys precisely and accurately.

Key words: lead alloy; cadmium; tin; tartaric acid; Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

本文引用格式:郝原芳,刘新,宋丽华,等.电感耦合等离子体质谱法测定铅合金中的微量杂质元素镉和 锡[J].岩矿测试,2016,35(4):378-383. HAO Yuan-fang, LIU Xin, SONG Li-hua, et al. Determination of Trace Cadmium and Tin in Lead Alloys by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis, 2016,35(4):378-383. DOI: 10.15898/j. cnki.11-2131/td.2016.04.007.