

文章编号: 0254-5357(2009)03-0233-06

铼-钨同位素定年法中丙酮萃取铼的系统研究

李超¹, 屈文俊^{1*}, 杜安道¹, 孙文静²

(1. 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264000)

摘要: 文章较为系统地研究了铼-钨定年法中丙酮萃取铼的实验条件, 对萃取介质的碱度和萃取剂的用量进行了优化, 并对振荡萃取时间以及碱洗进行了选择。优化后的实验条件对铼有较高的回收率, 对其他杂质元素也有较高的分离系数, 不仅简化了实验流程, 而且节约了化学试剂。

关键词: 铼-钨同位素定年; 铼; 萃取; 丙酮

中图分类号: O611.7; O614.713 **文献标识码:** A

Comprehensive Study on Extraction of Rhenium with Acetone in Re-Os Isotopic Dating

LI Chao¹, QU Wen-jun^{1*}, DU An-dao¹, SUN Wen-jing²

(1. National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China; 2. No.3 Institute, Geological and Mineral Resources Exploration & Development Survey of Shandong Province, Yantai 264000, China)

Abstract: The experimental condition for rhenium extraction with acetone was studied comprehensively. The effect of amount of extracting reagent, alkalinity of the system, the extracting time on the extraction rate of rhenium and whether acetone should be washed by NaOH after extraction were studied. The optimized experiment condition provides high rhenium extraction rate and high separation rate of other metal elements.

Key word: Re-Os isotopic dating; rhenium; extraction; acetone

Re-Os 同位素体系作为地质学上定年和示踪的一种强有力工具, 广泛应用于矿床成因、壳幔分异、天体演化、海洋沉积等领域的研究^[1-7]。自从1994年辉钼矿的 Re-Os 同位素地质年龄测定方法在国内首次建立以来^[8], 随着科学技术进步, 仪器不断改进, 方法不断成熟, Re-Os 同位素体系得到越来越广泛的研究与应用。杜安道等^[9]和屈文俊等^[10-11]研制的 Caruis 管溶样、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)测定辉钼矿 Re-Os 地质年龄等技术, 已经成为国内辉钼矿定年成熟的方法之

一, 得到了国内外地质工作者的认可。

对于 Re-Os 同位素研究的大多数地质样品, Re 含量相对 Mo、Fe 等基体元素比较低, 如果基体元素含量大于 1 mg/mL, 会使 ICP-MS 雾化器和采样锥堵塞, 并且 Mo 等元素会对仪器产生较强的基体效应, 因此必须对样品溶液中的 Re 进行化学分离。目前大多数实验室采用阴离子交换分离 Re^[12-14], 该方法具有易操作、分离较完全的优点, 并且没有用到毒性较大的有机试剂, 但是操作流程较长, 并且在分离有沉淀的样品溶液时, 离子交换

收稿日期: 2009-03-05; 修订日期: 2009-03-31

基金项目: 国家科技支撑计划项目——“南岭地区有色-重金属综合勘查技术研究”课题资助(2006BAB01B03); 国土资源地质大调查——我国重要矿产和区域成矿规律研究项目资助(1212010633903); 中国成矿体系综合研究项目资助(1212010634002); 我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估项目资助(200420190004)

作者简介: 李超(1983-)男, 河北唐山人, 硕士研究生, 从事同位素年代学研究。E-mail: Re-Os@163.com。

通讯作者: 屈文俊(1964-)男, 湖北武汉人, 研究员, 从事岩石矿物及环境材料的无机分析测试技术应用研究和金属矿床年代学研究。E-mail: quwenjun03@163.com。

柱容易堵塞。杜安道等^[8-9]建立的在碱性介质中用丙酮萃取 Re 的方法,大部分共存基体元素可以得到有效的分离。该方法方便快捷,丙酮相对其他有机试剂毒性较小,并且不需要进行反萃取。尤其值得一提的是,该方法与碱熔配合运用效果明显,因此对于铬铁矿、尖晶石等一些难熔样品的分析,碱熔后直接就能取部分溶液用丙酮进行萃取,无需进行介质酸碱转换,操作简便。

近些年来,丙酮萃取 Re 的方法广泛应用于地质样品中,并且获得了很多较好的结果。虽然该方法已是十分成熟,但是对丙酮萃取 Re 的实验条件目前还缺乏较为系统的深入总结和优化。本文主要对丙酮萃取分离 Re 的实验条件进行了优化,观察萃取振荡时间、萃取剂的加入量以及萃取体系碱性浓度的变化对 Re 萃取效率的影响,并研究了大量金属离子共存条件下丙酮萃取分离 Re 的效果,以及对其他金属离子的去除效率。

1 实验部分

1.1 仪器和主要试剂

采用 TJA X - Series 等离子体质谱仪(美国 Thermo 公司)测定同位素比值,其测量条件见表 1。

表 1 ICP-MS 的测量条件

Table 1 Instrumental parameters of ICP-MS

参数	设定值	参数	设定值
取样锥孔径	1.0 mm	辅助气(氩气)流量	0.70 L/min
截取锥孔径	0.7 mm	雾化气(氩气)流量	0.85 L/min
射频入射功率	1350 W	测量方式	跳峰
射频反射功率	0.5 W	停留时间	15 ms/点
冷却气(氩气)流量	13 L/min	扫描次数	200

稀释剂¹⁸⁵Re 金属粉,为美国橡树岭国家实验室(ORNL)产品,按文献[1]对稀释剂进行配制和标定。稀释后 $w(\text{Re})$ 为 9315 ng/g,介质为 3.7 mol/L HCl。

NH_4ReO_4 :光谱纯,按文献[1]制备普通 Re 标准溶液,稀释后 $w(\text{Re})$ 为 10041 ng/g,介质为 3.7 mol/L HCl。

HCl:经超净室双瓶蒸馏处理的超级纯试剂。

丙酮:MOS 纯(北京化学试剂研究所)。

HNO_3 :优级纯(北京化学试剂研究所),经石英蒸馏器亚沸蒸馏。

NaOH:优级纯(北京化工厂)。

$\varphi = 30\%$ (体积分数,下同)的 H_2O_2 :MOS 纯(北京化学试剂研究所)。

实验用水经 Milli-Q 装置纯化制得(电阻率 $> 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$)。

1.2 实验方法

准确移取 10041 ng/g 普通 Re 标准溶液于 50 mL 烧杯中,然后将烧杯置于 140 °C 电热板上加热。待烧杯中溶液蒸干后,分别向其中加入一定体积新配制的 NaOH 溶液,盖上表面皿,在 140 °C 电热板上加热 0.5 h,然后冷却至室温。冷却后的溶液转移至 50 mL 用生料带缠口的离心管中,并向其中分别加入一定体积丙酮,振荡一定时间后,将其放入离心机离心 15 min,用一次性塑料滴管将上层丙酮相转入装有 2 mL Milli-Q 水和事先准确称量 9315 ng/g ¹⁸⁵Re 稀释剂的玻璃烧杯中,将烧杯置于 50 °C 电热板上加热蒸发丙酮,当丙酮挥发完全后,再升高电热板的温度至 140 °C,将剩下的溶液浓缩至近干,加入数滴双瓶蒸馏 HNO_3 和数滴 H_2O_2 并蒸干,然后反复一次,最后加两滴 HNO_3 ,定容后上机测定。

2 结果与讨论

2.1 振荡萃取时间对丙酮萃取铼的影响

由于待分析元素 Re 在水相中,一些杂质元素如 Mo、Fe 等同样也在水相中。理论上,金属元素在水相和有机相达到平衡需要一定时间,在达到平衡以前,如果振荡萃取时间越长,会有更多的 Re 从水相进入有机相中,但是同样也会有更多的杂质元素进入有机相中。为了既能保证 Re 的回收率,同样尽可能减少杂质元素进入有机相中,缩短实验流程,确定一个合理的振荡萃取时间是十分必要的。在该项实验中,5 份溶液中均加入 0.1 g 准确称量的 10041 ng/g 普通 Re 标准溶液,萃取剂丙酮的体积均为 10 mL,萃取介质均为 10 mL 5 mol/L NaOH 溶液,通过改变不同的振荡萃取时间,来确定一个最佳的丙酮萃取 Re 的时间。

由图 1 可知,振荡萃取时间在 0.5 ~ 5 min,不同的萃取时间对 Re 回收率影响不大,这说明 Re 能够在很短的时间内实现水相和有机相之间的分配平衡,振荡萃取时间为 0.5 min 时,Re 的回收率能够达到 93.6%,这对于分析 Re 含量较高样品已经足够。因此在实际样品分析中,确定振荡萃取时间为 1 min,可在分析大量样品时大大缩短实验流程,这又在一定程度上保证了 Re 有足够高的回收率。

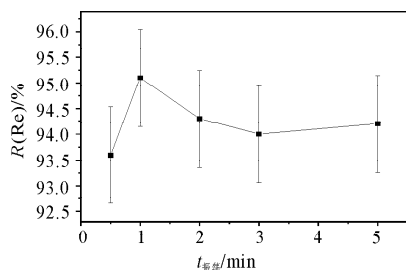


图1 振荡萃取时间对 Re 回收率影响

Fig. 1 The influence of shaking extraction time on recovery of Re
Re 回收率含 1% 误差。

2.2 不同浓度氢氧化钠溶液对丙酮萃取铼的影响

该项实验中 5 份溶液中分别加入 0.1 g 准确称量的 10041 ng/g 普通 Re 标准溶液, 萃取剂丙酮的体积均为 10 mL, 振荡萃取时间均为 5 min, 通过加入 10 mL 不同浓度的 NaOH 溶液来改变样品溶液的碱性介质浓度, 得到 Re 萃取率较高的一个最佳 NaOH 溶液浓度。结果如图 2 所示。

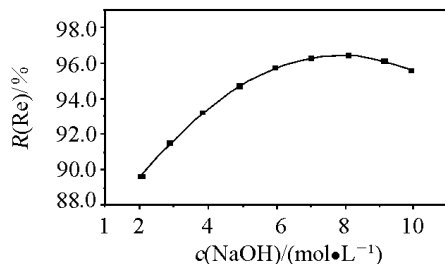


图2 萃取介质 NaOH 浓度对 Re 回收率的影响

Fig. 2 The influence of NaOH concentration on recovery of Re

通常情况下, 丙酮试剂与水是相互混溶的。很多学者认为, 丙酮作为萃取剂将 Re 从溶液中萃取出来似乎是不太可能的。事实上, 丙酮与水在酸性、中性介质, 甚至在弱碱性介质中的确相互混溶, 但是当介质中碱的浓度超过一定值时, 水相与丙酮相会发生分层。图 2 结果表明, 当 Re 溶液介质中 NaOH 溶液浓度为 2~5 mol/L, Re 的回收率从 89.5% 迅速增加到 94.9%; NaOH 溶液浓度为 5~10 mol/L, Re 的回收率变化不大。如果选用 KOH 作为萃取介质, 那么 KOH 溶液的浓度从 2 mol/L 上升至 10 mol/L 的过程中, Re 的萃取率从 94.9% 以上逐渐下降到 60%^[15], 因此不容易控制得到稳定的 Re 回收率。本文实验观察表明, 当 NaOH 溶液浓度为 1 mol/L

时, 水相与有机相是相互混溶的; NaOH 溶液浓度为 2 mol/L 时, 水相和有机相之间界面产生乳化现象; 随着 NaOH 浓度逐渐增大, 分界面变得越来越清晰。在处理实际样品时, 样品中的金属离子往往会与 NaOH 反应生成带有颜色的氢氧化物沉淀, 因此在样品分析中, 丙酮相与水相分层十分明显, 可以较完全地将两相分离开来。当处理 Re 含量较高的样品(如辉钼矿等样品)时, 本着节约试剂的原则, 将 Re 溶液中 NaOH 浓度控制在 5 mol/L 左右, 能够得到较好的结果; 当处理 Re 含量较低的样品(如黄铁矿等样品)时, 将 Re 溶液中 NaOH 浓度控制在 7 mol/L 左右, 不失为一种较好的选择。

2.3 不同浓度丙酮对萃取铼的影响

该项试验中, 5 份溶液中分别加入 0.1 g 准确称量的 10041 ng/g 普通 Re 标准溶液, 振荡萃取时间均为 5 min, 水相为 10 mL 5 mol/L NaOH 溶液, 通过改变萃取剂丙酮的加入量来研究在含 Re 溶液中水相和有机相不同相比对 Re 回收率的影响。结果如图 3 所示。

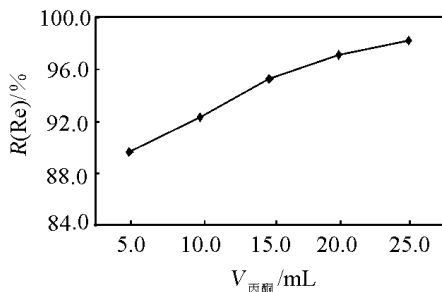


图3 10 mL 5 mol/L NaOH 溶液萃取介质中丙酮加入量对 Re 回收率影响

Fig. 3 The influence of acetone amount on recovery of Re in 10 mL of 5 mol/L NaOH solution

图 3 结果表明, 随着萃取剂丙酮加入量的不断增加, Re 的回收率也增加, 丙酮加入量在 5~10 mL 过程中, Re 的回收率从 89.7% 迅速增加到 95.3%; 但是当丙酮加入量大于 10 mL 以后, 丙酮对 Re 的萃取影响较小。在实际应用中, 理想的水相和有机相相比为 1:1 比较合适, 既可以得到一个较高的回收率, 又可以避免用到大量的微毒性丙酮试剂。值得一提的是, 当处理 Re 含量较高的样品时, 一般取样量会减小, 这时可以将 NaOH 和丙酮试剂用量均降到 5 mL, 节约试剂。

2.4 不同浓度碱性介质萃取后丙酮相体积的变化

该项实验中,溶液中 Re 的含量均为 0.1 g 准确称量的 10041 ng/g 普通 Re 标准溶液,萃取剂丙酮的体积均为 10 mL,振荡萃取时间均为 5 min,通过加入 10 mL 不同浓度的 NaOH 溶液来改变碱性介质浓度,然后观察不同浓度碱性介质条件下,萃取后丙酮相体积发生的变化。结果见图 4。

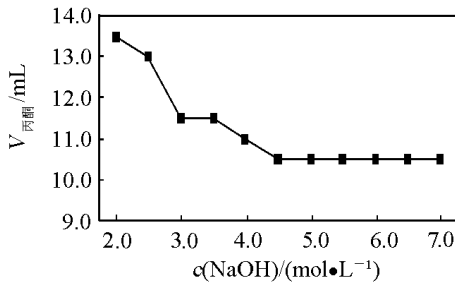


图4 不同浓度碱性介质对萃取后丙酮相体积的影响
Fig. 4 The influence of different concentration of NaOH on acetone volume after extraction

图4的结果表明,当碱性介质 NaOH 溶液的浓度从 2.0 mol/L 上升到 4.5 mol/L 时,萃取后丙酮相体积明显下降,这表明当介质碱性较小时,丙酮相与水相混溶程度要大一些,当碱性介质浓度大于 5 mol/L 时,丙酮相的体积基本为 10.5 mL 左右,这说明还是会有一部分碱溶液相混入有机相中。由于在常规丙酮萃取 Re 实验流程中水相为 5 mol/L NaOH 溶液,因此如果有碱溶液相混入丙酮相中,就会引入很多 Na 盐。在采用 ICP-MS 测量时,Na 盐含量较高时,容易造成采样锥和雾化器的堵塞。在实际应用过程中,通过离心可以有效地将水相和有机相完全分离,避免过多的 Na 盐进入待测溶液中。

2.5 检查丙酮萃取后丙酮中夹带氢氧化钠的量

在该项实验中,溶液中 Re 的含量一定,萃取剂丙酮的体积均为 10 mL,振荡萃取时间均为 5 min,通过加入 10 mL 不同浓度的 NaOH 溶液来改变萃取溶液的碱度,用丙酮进行萃取后,再加入 3 mL 250 g/L NaOH 溶液洗一次丙酮相,检查不同浓度 NaOH 介质条件下丙酮萃取后其中夹带的 NaOH 量。由表 2 结果可知,溶液碱度越小时,水相与丙酮相混溶程度越大,使较多的水相进入丙酮相,夹杂在丙酮相中的 NaOH 量也会越大。这说明进入丙酮相的水相还会带入一定量的 NaOH,这对于测量仪器十分不利,当溶液碱度不断增大时,水相与丙酮相混溶程度会变小,引入的 NaOH 量也会

减少。当用 250 g/L NaOH 溶液洗一次丙酮相之后,由于该过程相当于增加了萃取溶液的碱度,因此洗过之后的 NaOH 残存率会大幅度降低。溶液介质碱度为 5 mol/L 时,丙酮相中夹杂的 Na 盐已经少到足以满足仪器测定的要求。

表2 不同浓度 NaOH 介质中丙酮萃取和碱洗后丙酮中夹带 NaOH 量

Table 2 The amount of NaOH remained in acetone after extraction in different concentration of NaOH solution

NaOH 浓度 c/(mol·L ⁻¹)	NaOH V/mL	丙酮 V/mL	第一次萃取后		用 250 g/L NaOH 溶液 洗一次	
			NaOH m/g	NaOH 残存率 w/%	NaOH m/g	NaOH 残存率 w/%
2	10	10	0.58837	73.55	0.05747	7.18
3	10	10	0.06428	5.36	0.01771	1.48
5	10	10	0.00265	0.13	0.00165	0.08

2.6 萃取时间和碱洗对杂质元素和铼分离富集效果

在常规实验时,样品中往往会存在一些杂质元素,如果杂质元素很高,尤其是对于 Re 含量较低的样品无法进一步稀释时,一方面会对测量仪器造成污染,另一方面容易造成雾化器和采样锥的堵塞。

针对铜镍硫化物样品中存在大量杂质元素 Cu 和 Ni,富钴结壳等海洋沉积物含有大量 Co,黄铁矿等硫化物含有大量 Fe,以及辉钼矿中存在大量 Mo 等元素,因此本实验萃取对象为 2 mL 1 mg/mL Cu、Ni、Cr、W 标准溶液,4 mL 0.5 mg/mL Co 标准溶液和准确称量的普通 Re 标准溶液,以及 Carius 管法溶解的一定量辉钼矿样品和 0.6 g 黄铁矿标准样品。丙酮萃取实验之后(萃取实验条件见表 3),加入准确称量的 Re 稀释剂,定容至 5 mL,分别测定 Cu、Ni、Cr、W、Mo、Co、Fe 含量以及 Re 的同位素比值,并计算杂质元素的去污系数和 Re 的回收率,结果见表 4。通过对比来观察碱洗以及振荡时间是否对 Re 回收率和杂质元素去除率产生影响。

从表 4 数据可以看出,丙酮萃取 Re 方法不但对 W、Fe、Cu 等杂质元素有较高的分离系数,而且对 Re 有非常好的回收率。由于丙酮萃取 Re 的介质为 5 mol/L NaOH 溶液,因此对于 Cu、Ni、Cr、Co、Fe 等元素,在丙酮萃取之前这些元素已经有相当一部分形成了氢氧化物沉淀。这些元素的去污系数如此之高是由于元素本身形成沉淀和丙酮萃取共同作用的结果。而对于 W、Mo 元素,它们在碱性溶液中并不形成沉淀,因而它们的去除效果完全是丙酮萃取的作用。由于辉钼矿在 Re-Os 定年中得到广泛应用,而且辉钼矿中含有大量 Mo,因此本实验还以辉钼矿样品为研

研究对象 Carius 管水溶性 丙酮萃取 Re 观察丙酮作为萃取剂对 Mo 的分离效果(见表 5)。如果不进行碱洗 振荡萃取 0.5 min 和 5 min 效果是近似的 而进行碱洗时 振荡萃取时间对 Mo 的去污系数影响也不大,然而 是否进行碱洗对分离系数影响很大。当不进行碱洗时 Mo 的分离系数约为 0.03×10^6 如果辉钼矿取样量为 0.05 g 假设辉钼矿 Re 含量为 5000 ng/g 那么当溶液稀释到 Re 浓度为 3 ng/g 上机测定时 该溶液中大约含有 12 ng/g 的 Mo 这对于质谱测量仪器 几乎不产生记忆效应。如果 Re 含量小于 5000 ng/g 时,一般情况下取样量会增大 这时为了防止对测量仪器产生污染 需要进行碱洗。对于其他元素而言 其分离系数都比较大 在不同的萃取时间以及是否碱洗条件下变化并不大。在常规实验中 可以减少萃取时间 对于 Re 含量高的样品 可以省去碱洗步骤 节约了试剂 简化了实验流程。由此可见 丙酮非常适合作为 Re-Os 定年法中 Re 的萃取剂。

表 3 丙酮萃取时间和碱洗条件

Table 3 Acetone extraction time and alkali washing condition

样品 编号	V/mL		t/min		V(NaOH ^①)/mL	t/min	
	NaOH ^①	丙酮	振荡	离心		离心	振荡
081224-1	10	10	5	15	3	3	15
081224-2	10	10	0.5	15		未经碱洗	
081224-3	10	10	0.5	15	3	0.5	15
081224-4	10	10	5	15		未经碱洗	

① NaOH 溶液浓度为 5 mol/L。

表 4 杂质元素和 Re 的分离富集效果

Table 4 Re enrichment and its separation from other impurity elements

样品 编号	分离系数 ($\times 10^6$)						回收率 R(Re)/%
	Cu	Ni	Cr	Co	W	Fe	
081224-1	0.14	0.14	0.13	0.19	1.47	1.06	92.93
081224-2	0.09	0.14	0.14	0.57	1.23	1.74	96.26
081224-3	0.15	0.14	0.16	0.44	1.04	5.40	90.25
081224-4	0.10	0.13	0.18	0.62	1.39	1.42	94.04

表 5 辉钼矿样品中 Mo 的分离效果影响

Table 5 The separation effect of Mo in molybdenite samples

样品编号	$m_{\text{取}}/\text{g}$	萃取条件	$V_{\text{定容}}/\text{mL}$	$w(\text{Mo})/(\text{ng} \cdot \text{g}^{-1})$	Mo 分离系数
090210-2	0.0042	同 081224-2	30	2.211	0.038×10^6
090210-5	0.0044	同 081224-2	30	2.647	0.033×10^6
090204-6	0.20370	同 081224-4	30	109.7	0.037×10^6
090210-19	0.01142	同 081224-4	60	2.634	0.030×10^6
090204-7	0.05005	同 081224-3	30	0.956	1.047×10^6
090204-8	0.05360	同 081224-3	30	0.535	2.004×10^6
090204-9	0.05076	同 081224-1	30	0.466	2.179×10^6
090204-10	0.05154	同 081224-1	30	0.331	3.114×10^6

2.7 氢氧化钠加入方式的选择

常规方法中 蒸馏 Os 后的剩余残液为酸性介质 待含有 Re 的残液冷却下来后直接转入分液漏斗 并向其中加入 3 g 固态 NaOH 待残液中的酸与所加入的碱中和以后 加入 10 mL 丙酮萃取剂 如果不分层再加入少量固态 NaOH 直到分层为止。该方法虽然看起来十分方便快捷 但是却有以下几个缺点:① 由于不同的样品取样量不同 加入的酸的量也不相同 加入的固态 NaOH 量也不好确定;② 所用固态 NaOH 没有经过纯化 造成空白中 Re 较高 不利于 Re 含量低的样品分析;③ 加入大量固态 NaOH 使溶液中 Na 盐过饱和 有些会沉淀在分液漏斗径口处 十分不利于分液过程的操作 并且在蒸干丙酮后 发现大量的白色物质析出 估计绝大多数为 Na 盐 这对于测量仪器极为不利;④ 在 Na 盐过饱和的介质中 不能确定丙酮对 Re 的回收率;⑤ 所加入固态 NaOH 与酸中和产生大量水 为保证 NaOH 溶液浓度为 5 mol/L 必须要消耗大量固态 NaOH;⑥ 加入固态 NaOH 后 发生酸碱中和反应 释放出大量的热 因为丙酮对 Re 的萃取反应为放热反应 如果介质温度较高 会影响 Re 的萃取效率 因此还要等溶液恢复到常温 增加了操作时间。

本实验先将蒸馏 Os 后的剩余残液蒸干将酸赶走 然后再加入 5 mol/L NaOH 溶液 进行丙酮萃取实验 这样的方式更有利于取得较好的萃取效果。

3 结语

本文较为系统地研究了 Re-Os 同位素定年常规方法中丙酮萃取 Re 的条件 并对实验条件进行了优化 采用 10 mL 丙酮从 10 mL 5 mol/L NaOH 溶液介质中萃取 Re 1 min 一次萃取 Re 回收率在 95% 左右。全流程对共存元素 Mo、W、Fe、Ni、Cu、Co、Cr 都有很好的分离效果。

Carius 管溶样结合丙酮萃取流程适合于辉钼矿、黑色页岩、黄铁矿、铜镍硫化物等多种岩石矿物中从大量基体元素中简单快速地分离富集 Re 进一步验证了在 Re-Os 同位素定年分析中丙酮是一种富集 Re 理想的萃取剂。

4 参考文献

- [1] Shirey S B, Walker R J. The Re-Os isotope system in cosmochemistry and high-temperature geochemistry [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1998 26 #23-500.

- [2] 侯增谦,曲晓明,王淑贤,高永丰,杜安道,黄卫. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学:D 辑, 2003, 33(7):609-618.
- [3] 韩春明,肖文交,赵国春,屈文俊,毛启贵,杜安道. 新疆喀拉通克铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素研究及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(1):163-170.
- [4] 毛景文, Holly Stein, 杜安道, 周涛发, 梅燕雄, 李永峰, 藏文栓, 李进文. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报, 2004, 78(1):121-131.
- [5] 杨胜洪, 陈江峰, 屈文俊, 杨刚, 杜安道. 金川铜镍硫化物矿床的 Re-Os “年龄”及其意义[J]. 地球化学, 2007, 36(1):27-36.
- [6] Zhang Zuoheng, Mao Jingwen, Du Andao, Franco Pirajno, Wang Zhiliang, Chai Fengmei, Zhang Zhaochong, Yang Jianmin. Re-Os dating of two Cu-Ni sulfide deposits in Northern Xinjiang, NW China and its geological significance[J]. *Asian Earth Sciences*, 2008, 32:204-217.
- [7] Sun Xiaoming, Wang Shengwei, Sun Weidong, Shi Guiyong, Sun Yali, Xiong Dexin, Qu Wenjun, Du Andao. PGE geochemistry and Re-Os dating of massive sulfide ores from the Baimazhai Cu-Ni deposit, Yunnan province, China[J]. *Lithos* 2008, 105(1-2):12-24.
- [8] 杜安道,何红蓼,殷宁万,邹晓秋,孙亚莉,孙德忠,陈少珍,屈文俊. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报, 1994, 68(4):339-347.
- [9] 杜安道,赵敦敏,王淑贤,孙德忠,刘敦一. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 2001, 20(4):247-252.
- [10] 屈文俊,杜安道. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. 岩矿测试, 2003, 22(4):254-257.
- [11] 屈文俊,杜安道. 电感耦合等离子体质谱测定辉钼矿中 Re、Os 含量时的质量分馏效应的校正[J]. 质谱学报, 2004, 25(增刊):181-182.
- [12] Morgan J W, Golightly D W, Dorzapf A F Jr. Methods for the separation of rhenium, osmium and molybdenum applicable to isotope geochemistry[J]. *Talanta*, 1991, 38(3):259-265.
- [13] 张成强,张锦柱. 铼的分离富集研究进展[J]. 中国钼业, 2004, 28(1):42-46.
- [14] 储著银,陈福坤,王伟,谢烈文,杨岳衡. 微量地质样品铼钨含量及其同位素组成的高精度测定方法[J]. 岩矿测试, 2007, 26(6):431-435.
- [15] 汪小琳,刘亦农,熊宗华. 酮类试剂萃取分离铼的研究[J]. 化学试剂, 1995, 17(3):143-145.

中文核心期刊
CODEN:YACEEK

《岩矿测试》

ISSN 0254-5357
CN 11-2131/TD

欢迎订阅

欢迎投稿

承接广告

《岩矿测试》是中国地质学会岩矿测试专业委员会和国家地质实验测试中心共同主办的分析测试技术科技期刊。国际标准刊号 ISSN 0254-5357, 国际刊名代码 CODEN:YACEEK, 国内统一刊号 CN 11-2131/TD。

《岩矿测试》的宗旨是突出服务于地球科学和地质找矿事业以及促进岩矿测试技术的发展。根据国家地质工作的重点由单一资源向资源环境并重的转变,《岩矿测试》的内容有所拓宽,主要报道国内与分析科学、资源环境、地球科学相关的新技术、新方法、新理论和新设备等研究成果、动态、评述及相关实践经验。

《岩矿测试》于1982年创刊,国内外公开发行。近年来刊物地位不断提高,是中文核心期刊,中国科技核心期刊,中国期刊方阵双效期刊,中国科技论文统计源期刊,美国《化学文摘》、美国《剑桥科学文摘》、英国《分析文摘》、俄罗斯《文摘杂志》等数据库收录期刊。曾先后被评为国家、原地矿部、北京市、中国科协的优秀科技刊物。适合于地质、冶金、环保、石油、化工、煤炭等部门从事分析测试的科技工作者及大专院校分析化学、环境资源、地球科学等相关专业的师生阅读。

《岩矿测试》为双月刊,大16开版本,逢双月出版,国内邮发代号2-313,国际书店发行代号BM4089,广告经营许可证:京西工商广字第0227号,定价10.00元/本,全年60.00元。漏订的读者可直接与编辑部联系。

《岩矿测试》编辑部地址:北京西城区百万庄大街26号 国家地质实验测试中心(邮政编码100037)

电话:010-68999562;68999563 传真:010-68999563 E-mail:ykcs_zazhi@163.com;ykcs_zazhi@sina.com