

利用多接收器电感耦合等离子体质谱法精确测定 天然岩石样品中的铼含量

李 杰¹, 梁细荣¹, 董彦辉^{1,2}, 涂湘林¹, 许继峰¹

(1. 中国科学院同位素年代学与地球化学重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:利用多接收器电感耦合等离子体质谱(MC-ICPMS)精确测定了天然岩石样品的铼含量。在膜除溶雾化进样条件下, 铼测试样品中加入铱标准溶液, 通过在线监控铱同位素的质量分馏行为来校正铼同位素的质量分馏。实验发现, 铼和铱的质量分馏系数(f_{Re} 和 f_{Ir})是不相等的, 如果认为 $f_{\text{Re}} = f_{\text{Ir}}$, 将会导致 $^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}$ 同位素比值偏低, 但是 $f_{\text{Re}}/f_{\text{Ir}}$ 比值固定不变, 这样可以通过已知的 f_{Ir} 计算出 f_{Re} , 从而得到准确的 $^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}$ 同位素比值。本工作利用这种经验的质量分馏校正方法, 精确的测定出天然铼标准样品的 $^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}$ 同位素比值为 $1.674\ 3 \pm 0.000\ 1 (2\sigma, n=25)$, 该结果与国际纯粹与应用化学委员会(IUPAC)推荐值($1.674\ 0 \pm 0.001\ 1$)以及 N-TIMS 测定值($1.675 \pm 0.001\ 4$)在误差范围内一致。而且, 采用该经验的质量分馏校正方法测得的天然铼标准样品的 $^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}$ 同位素比值与采用 $f_{\text{Re}} = f_{\text{Ir}}$ 校正结果相比, 准确度和外部重现性都明显提高。最后采用该方法准确测定出了天然岩石中 Re 含量, 该结果与 N-TIMS 测定结果吻合。

关键词:多接收器电感耦合等离子体质谱(MC-ICPMS); 岩石样品; 铼含量; 铼同位素比值

中图分类号: O 657. 63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-2997(2008)05-283-07

Precise Measurement Re Concentration of Natural Rock Sample by MC-ICPMS Using Iridium to Correct for Mass Fractionation

LI Jie¹, LIANG Xi-rong¹, DONG Yan-hui^{1,2}, TU Xiang-lin¹, XU Ji-feng¹

(1. Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry,
Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: This study reported a measurement method of high-precision rhenium isotope ratio, $^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}$, and Re concentration of natural rock samples were measured by multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (MC-ICPMS) through measuring the amount of fractionation on admixed Iridium. It recognizes that the mass fractionation of MC-ICPMS appears to follow the exponential law, and the fractionation coefficients of Re and Ir are not identical, but the ratio of $f_{\text{Re}}/f_{\text{Ir}}$ is constant during an analytical session. Thus, this

constant ratio can be used to calculate the value of f_{Re} according to known value f_{Ir} . Replicate analyses of both Re natural standard and ^{185}Re -enriched spike determined by MC-ICPMS are consistent with those measured by negative thermal ionization mass spectrometry (N-TIMS). $^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}$ ratios of the Re natural standard is $1.674\ 3 \pm 0.000\ 1 (2\sigma, n=25)$. The value is indistinguishable within analytical uncertainty from the value adopted by IUPAC ($1.674\ 0 \pm 0.001\ 1$), and is also in agreement with those measured by N-TIMS ($1.675\ 5 \pm 0.001\ 4$). In addition, the precise and accurate are improved by using this empirical correction technique. The Re concentration of the natural rock samples are reasonable agree with those measured by N-TIMS.

Key words: MC-ICPMS; rock sample; Re concentration; Re isotopic ratio

铼为 75 号元素,它有两个稳定同位素 ^{185}Re 和 ^{187}Re ,其中 ^{187}Re 经 β -衰变生成 ^{187}Os ,衰变常数 $\lambda=1.666 \times 10^{-11}/\text{年}^{[1-2]}$ 。90 年代初,随着负离子热电离质谱(N-TIMS)技术的发展和运用,大大提高了铼同位素测定的精度和准确度,使得 Re-Os 同位素体系作为定年工具被广泛应用在地球科学领域^[3-4]。在对地质样品进行 Re-Os 同位素定年过程中,通常使用同位素稀释法测定 Re 和 Os 的含量,因此,精确测定 Re 同位素比值对于 Re-Os 同位素定年来说是非常需要的。但是,由于铼只有两个同位素,在利用传统的 N-TIMS 测定时,为了进行仪器的质量分馏校正,首先通过测定 Re 的标准样品,然后根据标准样品的参考值得出分馏校正因子^[5]。这种方法假定认为标准样品和待测样品在测定过程中的质量分馏是不变的,但是仪器的质量分馏是随着仪器的真空度、灯丝温度和电离效率等条件的变化而改变的,所以这种校正方法是不准确的,会造成较大的分析误差,也很难获得准确的地质年代学结果。

近年来,电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)分析技术被应用在 Re-Os 同位素分析领域^[6-7],由于采用了高温高效的等离子体作为离子源,因此与 TIMS 相比,其灵敏度相对较高,分析速度快、效率高,能进行高电离能的元素(如 Hf、W、Os 和 Re 等)分析。尤其是多接收器电感耦合等离子体质谱(MC-ICPMS),具有等离子体的同时电离以及多接收器的同时静态收集的优点,使 MC-ICPMS 可获得与 TIMS 相当或更高的分析精度^[8-9]。MC-ICPMS 的另一个优势在于对载入等离子体的物质的化学形态不敏感,在高温下都可以被完全电离。这样就可以在被测样品中加入与被测样品质量数相近的标准样品,通过测

定加入的标准样品的同位素质量分馏来校正被测样品的质量分馏。比如在 Pb 的被测样品中加入 Tl 标准溶液,通过测定 Tl 的同位素质量分馏来校正 Pb 的质量分馏^[10]。

本研究利用 Micro mass IsoProbe 型 MC-ICPMS 结合同位素稀释法对 Re 标准溶液中的铼同位素组成和天然岩石样品中的 Re 含量进行分析测定,通过在 Re 样品溶液中加入适量的 Ir 元素,利用 Ir 元素的两个稳定同位素 $^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir}$ (为原子数之比,全文同)的测定值对 $^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}$ 比值的测定值进行仪器质量分馏的内部在线校正。Ir 的原子质量和同位素组成很接近,而且 Ir 的两个同位素是非放射成因的,在自然界中 Ir 的 $^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir}$ 比值固定不变为 1.683 0^[11],因此非常适合作为内标元素来校正 Re 的质量分馏。

1 实验部分

1.1 仪器及试剂

Micro mass IsoProbe 多接收器电感耦合等离子体质谱;英国 GV 公司产品,仪器介绍见文献^[12];Aridus 膜除溶雾化器;美国 CETAC 公司产品。

Ir 和 Re 标准溶液:国家钢铁材料测试中心提供; ^{185}Re 稀释剂(浓度 $1.021\ 4 \times 10^{-9}$):美国橡树岭实验室提供;阴离子交换树脂 AG1X8、 HNO_3 和 HCl 由石英亚沸蒸馏器纯化;实验用水为 Millipore $18\ \text{M}\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$ 。所有标准溶液的稀释都是在净化实验室完成的。

1.2 岩石样品中 Re 的化学分离

采用 Carius 管溶样法分解岩石样品^[13],用阴离子交换树脂法将 Re 从基体中分离出来,具体步骤如下:准确称量 2~4 g 岩石粉末和适量

的¹⁸⁵Re 稀释剂加入到 Carius 管中,再加入 9 mL 浓 HNO₃ 和 3 mL HCl,用氧气-煤气火焰密封 Carius 管,以 230 ℃ 加热 24 h。在密封的条件下,溶解样品不仅可以防止 Re 形成 Re₂O₇ 而挥发丢失,而且可以有效地达到同位素平衡。溶样结束后,小心打开 Carius 管,离心,取出上清液,在 135 ℃ 电热板上加热近干,再加入 10 mL 1 mol·L⁻¹ HCl,以 80 ℃ 加热 3 h。冷却后,将该样品溶液加入到装有 AG1X8 阴离子的色谱柱上,分别用 5 mL 1 mol·L⁻¹ HCl 淋洗(4 次)除去杂质,最后用 5 mL 6 mol·L⁻¹ 的 HNO₃ 洗脱 Re 到 Teflon 烧杯中,蒸至近干,用 2% 的 HNO₃ 稀释到 0.6 mL,待质谱测定用。

1.3 质谱测定

采用静态的法拉第杯同时接收方式测定 Re 的同位素, Faraday 接收器的定位分布为: Ax=185、H2=187、H4=190、H5=191、H6=193, 分别接收¹⁸⁵Re、¹⁸⁷Re、¹⁹⁰Os、¹⁹¹Ir 和¹⁹³Ir 这 5 个质量数,其中 H4 用来接收¹⁹⁰Os 的信号,通过监控¹⁹⁰Os 的信号判断来自¹⁸⁷Os 对¹⁸⁷Re 的同质异位素的干扰,但是在测定过程中没有检测到¹⁹⁰Os 的信号。通过调节炬管位置、雾化气及碰撞气流速对应最大且稳定的¹⁸⁷Re 信号;离子加速电压以保证中心杯接收的¹⁸⁵Re 质谱峰在 185±0.02 之内;离子透镜以¹⁸⁷Re 信号自动优化,仪器操作条件见表 1。

表 1 仪器操作条件

Table 1 Operating conditions of the micromass isoprobe and the aridus

Isoprobe 工作参数	
工作电压	≈6 000 V
RF 功率	1 350 W
冷却气流量(Ar)	13 L·min ⁻¹
辅助气流量(Ar)	1.0~1.2 L·min ⁻¹
雾化气流量(Ar)	1.0~1.2 L·min ⁻¹
碰撞气流量(Ar)	≈1.2 mL·min ⁻¹
采样锥	镍
Aridus 工作参数	
雾化室温度	70 ℃
脱溶温度	160 ℃
吹扫气流量(Ar)	3.4 mL·min ⁻¹
氮气流量	0.02~0.05 mL·min ⁻¹
样品流速	≈50 μL·min ⁻¹

利用膜除溶雾化器(aridus)作为样品的引入系统,该雾化器可以脱去样品溶液中的水和酸,进入等离子体的是“干气溶胶”,极大的提高了离子的电离效率和传输效率,与传统雾化器相比,灵敏度提高了 15~20 倍。进样系统的清洗采用 5% 的 HNO₃ 和 5% 的 HCl 交替清洗 8 min,就可以将¹⁸⁷Re 的信号降到背景值。一个样品的分析时间(包括清洗时间)为 12 min,所需样品的体积为 0.5 mL。

2 结果与讨论

2.1 质量分馏校正方法

在同位素质谱测定过程中的质量分馏表现,轻质量的同位素相对于重质量的同位素在传输过程中更易损失,这主要是由于“空间电荷效应”和“管口分离效应”造成的。

许多研究表明,利用 MC-ICPMS 测定同位素比值时,经常采用指数方程进行质量分馏校正^[14]。本研究也采用指数方程进行质量分馏校正。指数方程的表达式如下:

$$R_i=R_m(M_2/M_1)^f$$

其中, R_i 为校正值或真实值; R_m 为同位素比值的测量值(比如¹⁸⁷Re/¹⁸⁵Re); M_1 和 M_2 为被测元素的两个同位素质量数; f 为质量分馏系数。

梁细荣等^[14]利用 MC-ICPMS 测定 Re 同位素组成,采用传统雾化器进样方式和利用 Ir 来校正 Re 的质量分馏,并认为 Re 的质量分馏系数(f_{Re})与 Ir 的质量分馏系数(f_{Ir})相等,即经过质量分馏校正后,Re 标准样品的¹⁸⁷Re/¹⁸⁵Re 值为 1.671 2±0.006 ($n=5, 2\sigma$),但该值比国际纯粹与应用化学委员会(IUPAC)推荐值(1.674 0±0.001 1)^[15]低约 0.17%,比 Suzuki 等^[16]发表的 N-TIMS 测定值(1.675 5±0.001 4)低约 0.26%。本工作利用 MC-ICPMS 测定 Re 同位素组成,也采用 Ir 来校正 Re 的质量分馏,并认为采用 Aridus 作为溶液进样系统,得到 Re 标准样品的¹⁸⁷Re/¹⁸⁵Re 校正值为 1.669 7±0.000 2 ($n=25, 2\sigma$)(见表 2),该值比 Suzuki 等^[17]发表的 N-TIMS 测定值(1.675 5±0.001 4)低约 0.35%,造成 MC-ICPMS 测定结果普遍比 IUPAC 推荐值以及 N-TIMS 测定值低,主要原因是 不恰当的质量分馏校正方法。为了得到准确的 Re 同位素比值,本研究采用了一种经验的质

量分馏校正方法。

Maréchal 等^[18]在测定 Cu 同位素过程中,采用 Zn 来校正 Cu 的质量分馏时发现, $f_{\text{Cu}} \neq f_{\text{Zn}}$ 。同时还发现 $f_{\text{Cu}}/f_{\text{Zn}}$ 比值是固定不变的,而且 $\ln(^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu})$ vs $\ln(^{66}\text{Zn}/^{64}\text{Zn})$ 成很好线性。

根据 Maréchal 等^[18]的发现,可以将质量分馏系数的指数方程转换成对数方程形式:

$$\left(\frac{^{187}\text{Re}}{^{185}\text{Re}}\right)_t = \left(\frac{^{187}\text{Re}}{^{185}\text{Re}}\right)_m \left(\frac{^{187}}{^{185}}\right)^{f_{\text{Re}}} \Rightarrow f_{\text{Re}} = \frac{\ln\left[\frac{^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}_m}{^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}_t}\right] / \ln\left(\frac{^{187}}{^{185}}\right)}{\quad} \quad \text{式(1)}$$

$$\left(\frac{^{193}\text{Ir}}{^{191}\text{Ir}}\right)_t = \left(\frac{^{193}\text{Ir}}{^{191}\text{Ir}}\right)_m \left(\frac{^{193}}{^{191}}\right)^{f_{\text{Ir}}} \Rightarrow f_{\text{Ir}} = \frac{\ln\left[\frac{^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir}_m}{^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir}_t}\right] / \ln\left(\frac{^{193}}{^{191}}\right)}{\quad} \quad \text{式(2)}$$

将式(1)和(2)合并,整理后得式(3),

$$\ln\left(\frac{^{187}\text{Re}}{^{185}\text{Re}}\right)_m = \ln\left(\frac{^{187}\text{Re}}{^{185}\text{Re}}\right)_t + \frac{f_{\text{Re}}}{f_{\text{Ir}}} \ln\left(\frac{^{187}}{^{185}}\right) \times \left[\ln\left(\frac{^{193}\text{Ir}}{^{191}\text{Ir}}\right)_m - \ln\left(\frac{^{193}\text{Ir}}{^{191}\text{Ir}}\right)_t\right] \quad \text{式(3)}$$

式(3)相当于 $\ln(^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re})_m = a + b \ln(^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir})_m$ 的形式。将 $\ln(^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re})_m$ 对 $\ln(^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir})_m$ 的数据作图,发现成线性,示于图 1。那么,

$$\text{slope} = \frac{f_{\text{Re}} \ln(187/185)}{f_{\text{Ir}} \ln(193/191)} = b \quad \text{式(4)}$$

$$\text{则 } f_{\text{Re}} = f_{\text{Ir}} \frac{\ln(193/191)}{\ln(187/185)} \text{slope} \quad \text{式(5)}$$

如果 $f_{\text{Re}} = f_{\text{Ir}}$, 那么 $\text{slope} = \frac{\ln(187/185)}{\ln(193/191)} = 1.032\,3$,但实际上斜率为 $0.869\,3$ ($r^2 = 0.99$) (见图 1)。

采用 $^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir} = 1.683\,0^{[11]}$ 作为标准参考值,并将从图 1 所得到的斜率代入式(5),得到式(6),

$$f_{\text{Re}} = 0.842\,1 f_{\text{Ir}} \quad \text{式(6)}$$

该质量分馏校正的方法就是通过测定加在 Re 标准样品中的 Ir 标准溶液的 $^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir}$, 然后利用式(2)计算出 f_{Ir} , 再通过式(5)计算出 f_{Re} , 最后利用式(1)计算出 Re 标准样品的同位素比值。

2.2 Re 标准溶液的测定结果

MC-ICPMS 测定 Re 标准溶液的结果列于表 2。采用该经验校正方法,对测定的 Re 标准溶液的 $^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re}$ 同位素比值进行了校正,得到的平均值为 $1.674\,3 \pm 0.000\,1$ ($n = 25, 2\sigma$),该值

与 IUPAC 推荐值 ($1.674\,0 \pm 0.001\,1$ (2σ)) 一致,而且在误差范围内与 N-TIMS 的测定结果 ($1.675\,5 \pm 0.001\,4$ (2σ)) 也吻合,分析精度比 N-TIMS 提高了一个数量级。这表明准确有效地质量分馏校正方法,不仅可以提高分析结果的准确度,而且可以提高精度。

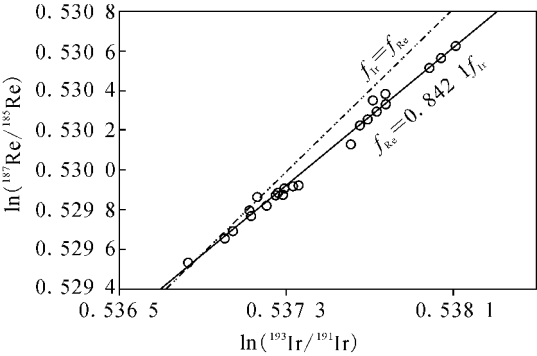


图 1 利用 MC-ICPMS 测定加有 Ir 标准溶液的 Re 标准样品,并将 $\ln(^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re})$ vs $\ln(^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir})$ 作图
Fig. 1 Plot $\ln(^{187}\text{Re}/^{185}\text{Re})$ vs $\ln(^{193}\text{Ir}/^{191}\text{Ir})$ for MC-ICPMS analyses of the Re standard mixed with Ir

2.3 天然岩石样品的 Re 含量测定结果与 N-TIMS 测定结果比较

表 3 和图 2 是 6 个天然岩石样品中 Re 含量的 MC-ICPMS 和 N-TIMS 测定结果对比, N-TIMS 分析结果是在日本海洋科学与技术中心(JAMSTEC) Re-Os 同位素分析实验室的 Triton 型 TIMS 上测定的,化学分离也是在该实验室完成^[19]。从表 3 和图 2 可以看出,除 ML04-23 样品,MC-ICPMS 和 N-TIMS 这两种方法的 Re 含量测定结果相差不大,这可能是由于微量的 Re 寄主矿物如硫化物不均一的分布在岩石中造成的^[20]。

2.4 基体效应

由于在 Re 样品溶液中加入 Ir 标准溶液,会产生“基体效应”,从而影响 Re 同位素比值的准确测定。本实验发现,当 Re-Ir 混合溶液中 Re/Ir(含量比)在 $0.2 \sim 5$ 范围时,对测定结果没有影响;但是 Ir 含量太低则会影响 Re 校正值的精度;如果含量太高,将会对 Re 的信号产生抑制作用。

表 2 采用两种校正方法对 Re 标准溶液测定结果进行质量分馏校正的结果

Table 2 Results of Re standard measurements using procedure A and B to correct mass fractionation

测量次数	¹⁸⁷ Re/ ¹⁸⁵ Re 测定值	2σ _m	¹⁹³ Ir/ ¹⁹¹ Ir 测定值	2σ _m	¹⁸⁷ Re/ ¹⁸⁵ Re 校正值 A	¹⁸⁷ Re/ ¹⁸⁵ Re 校正值 B
1	1.699 5	0.000 1	1.712 1	0.000 2	1.669 7	1.674 4
2	1.699 9	0.000 1	1.712 7	0.000 1	1.669 5	1.674 3
3	1.699 5	0.000 1	1.712 2	0.000 1	1.669 6	1.674 3
4	1.699 2	0.000 1	1.711 9	0.000 1	1.669 5	1.674 2
5	1.698 8	0.000 1	1.711 5	0.000 2	1.669 6	1.674 2
6	1.698 6	0.000 1	1.711 1	0.000 0	1.669 7	1.674 3
7	1.699 3	0.000 2	1.712 0	0.000 2	1.669 6	1.674 3
8	1.699 8	0.000 1	1.712 6	0.000 2	1.669 5	1.674 3
9	1.699 6	0.000 0	1.712 2	0.000 2	1.669 7	1.674 4
10	1.699 4	0.000 2	1.712 1	0.000 2	1.669 6	1.674 3
11	1.699 4	0.000 2	1.712 1	0.000 2	1.669 6	1.674 3
12	1.698 6	0.000 2	1.711 1	0.000 1	1.669 8	1.674 4
13	1.698 6	0.000 1	1.711 0	0.000 2	1.669 7	1.674 3
14	1.698 4	0.000 2	1.710 9	0.000 2	1.669 8	1.674 3
15	1.698 5	0.000 2	1.711 1	0.000 2	1.669 8	1.674 3
16	1.700 0	0.000 2	1.712 8	0.000 3	1.669 5	1.674 3
17	1.698 7	0.000 2	1.711 3	0.000 2	1.669 7	1.674 3
18	1.699 4	0.000 1	1.712 0	0.000 3	1.669 6	1.674 3
19	1.698 1	0.000 2	1.710 6	0.000 2	1.669 9	1.674 3
20	1.698 7	0.000 1	1.711 4	0.000 1	1.669 7	1.674 2
21	1.698 7	0.000 1	1.711 1	0.000 1	1.669 9	1.674 4
22	1.698 7	0.000 2	1.711 3	0.000 1	1.669 7	1.674 3
23	1.698 4	0.000 1	1.710 9	0.000 1	1.669 8	1.674 3
24	1.698 4	0.000 1	1.710 9	0.000 1	1.669 8	1.674 3
25	1.698 8	0.000 1	1.711 4	0.000 1	1.669 7	1.674 2
平均值	1.699 0		1.711 6		1.669 7	1.674 3
2SD	0.001 1		0.001 2		0.000 2	0.000 1

注:1)¹⁸⁷Re/¹⁸⁵Re 校正值 A,以¹⁹³Ir/¹⁹¹Ir=1.683 0 为标准参考值,并利用指数定律和认为 $f_{\text{Re}}=f_{\text{Ir}}$ 进行校正的结果;

2)¹⁸⁷Re/¹⁸⁵Re 校正值 B,以¹⁹³Ir/¹⁹¹Ir=1.683 0 为标准参考值,并利用经验校正方法进行校正的结果;

3)σ_m为平均值的相对标准误差,σ为相对标准偏差

表 3 利用 MC-ICPMS 和 N-TIMS
测定天然岩石样品 Re 含量的对比结果

Table 3 Comparision in Re of the natural rocks by
MC-ICPMS and N-TIMS

样品	方法	Re 含量/(ng · g ⁻¹)
ML04-17	MC-ICPMS	0.505 4±10
	N-TIMS	0.585 1±19
ML04-18	MC-ICPMS	0.158 4±21
	N-TIMS	0.141 8±15
ML04-20	MC-ICPMS	0.378 5±39
	N-TIMS	0.557 2±15
ML04-23	MC-ICPMS	0.519 0±51
	N-TIMS	0.227 3±30
ML04-45	MC-ICPMS	0.203 9±10
	N-TIMS	0.103 6±30
ML04-46	MC-ICPMS	0.117 0±10
	N-TIMS	0.144 7±30

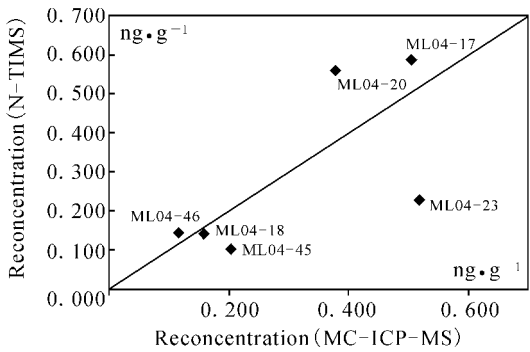


图 2 利用 MC-ICPMS 和 N-TIMS
测定天然岩石样品 Re 含量的对比结果

Fig. 2 Comparison of Re concentrations
determined by MC-ICPMS and N-TIMS

3 结 论

利用同位素稀释法结合 MC-ICPMS 测定天然岩石样品中的 Re 含量,可以在被测 Re 样品中加入 Ir 标准溶液,通过在线监控 Ir 同位素质量分馏,并利用经验的质量分馏校正方法获得准确的测量结果。该方法与 N-TIMS 方法相比,具有快速、简便和可以在线进行仪器质量分馏校正的优点。

致谢:对日本国家海洋科学与技术中心(JAMSTEC)的 Katz Suzuki 博士提供 Re 稀释剂和 Re 标样表示感谢!

参考文献:

[1] SHEN J J, PAPANASTASSIOU D A, WASSERBUR G J. Precise Re-Os determinations and systematics of iron meteorites[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,1996,60;2 887-2 900.

[2] SMOLIAR M I, WALKER R J, MORGAN J W. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA, and IVB iron meteorites [J]. *Science*, 1996, 271; 1 099-1 102.

[3] VOLKENING J, WALCZYK T, HEUMANN K. Osmium isotope ratio determinations by negative thermal ion mass spectrometry[J]. *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics*, 1991,105;147-159.

[4] CREASER R A, PAPANASTASSIOU D A, WASSERBURG G J. Negative thermal ion mass spectrometry of osmium, rhenium and iridium [J]. *Geochim Cosmochim Acta*,1991,55;397-401.

[5] HEUMANN K G, EISENHUT S, GALLUS S, et al. Recent developments in thermal ionization mass spectrometric techniques for isotope analysis; a review [J]. *The Analyst*, 1995, 120; 1 291-1 300.

[6] HASSLER D R, PEUCKER-EHRENBRINK B, RAVIZZA G E. Rapid determination of Os isotopic composition by sparging OsO₄ into a magnetic-sector ICP-MS[J]. *Chemical Geology*, 2000, 166;1-14.

[7] 李 杰,许继峰,梁细荣. Re-Os 同位素分析测试进展[J]. *质谱学报*,2005,26(3);175-182.

[8] SCHOENBERG R, NAGLER T F, KRAMERS J D. Precise Os isotope ratio and Re-Os isotope dilution measurements down to the picogram level using multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *International Journal of Mass Spectrometry*, 2000,197;85-94.

[9] 李 杰,梁细荣,董彦辉,等. 利用多接收器电感耦合等离子体质谱(MC-ICPMS)测定镁铁-超镁铁质岩石中的铼-钨同位素组成[J]. *地球化学*,2007, 36;153-160.

[10] REHKAMPER M, HALLIDAY A N. Accuracy and long-term reproducibility of lead isotopic measurements by multiple-collector inductively coupled plasma mass spectrometry using an external method for correction of mass discrimination[J]. *International Journal of Mass Spectrometry*,1998, 181;123-133.

[11] WALCZYK T, HEUMANN K G. Iridium isotope ratio measurements by negative thermal ionization mass spectrometry[J]. *Int J Mass Spectrom Ion Proc*,1993,123;139-147.

[12] 梁细荣, 韦刚健, 李献华, 等. 利用 MC-ICPMS 精确测定¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 和 Sm/Nd 比值[J]. *地球化学*,2003, 32;91-96.

[13] SHIREY S B, WALKER R J. Carius tube diges-

- tion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. Anal Chem, 1995, 67: 2 136-2 141.
- [14] RUSSELL W A, PAPANASTASSIOU D A, T-OMBRELLO T A. Ca isotope fractionation on the earth and other solar system material[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1978, 42: 1 075-1 090.
- [15] 梁细荣, 李 杰, 漆 亮, 等. 多接收器等离子体质谱精确测定铼含量及其同位素丰度[J]. 岩矿测试, 2005, 24: 1-6.
- [16] ROSMAN K J R, TAYLOR P D P. Isotopic compositions of the element 1997[J]. Pure Appl Chem, 1998, 70: 217-238.
- [17] SUZUKI K, MIYATA Y, KANAZAWA N. Precise Re isotope ratio measurements by negative thermal ion mass spectrometry (NTI-MS) using total evaporation technique[J]. Int J Mass Spectrom, 2004, 235: 97-101.
- [18] MARECHALI C N, TELOUK P, ALBAREDE F. Precise analysis of copper and zinc isotopic compositions by plasma-source mass spectrometry[J]. Chemical Geology, 1999, 156: 251-273.
- [19] SUZUKI K, HONDA M. Analytical method of osmium and rhenium isotopes[J]. Frontire Research on Earth Evolution, 2003.
- [20] GANGOPADHYAY A, SPROULE R A, WALKER R J, et al. Re-Os systematics of komatiites and komatiitic basalts at Dundonald Beach, Ontario, Canada: evidence for a complex alteration history and implications of a late-Archean chondritic mantle source[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2005, 69: 5 087-5 098.

中国质谱学会第八届全国会员代表大会暨 第九届全国学术交流会第一轮通知

中国质谱学会第八届全国会员代表大会暨中国质谱学会第九届全国学术交流会, 将于 2008 年 12 月上旬在海南省海口市召开。本届大会是中国质谱学会理事会换届及四年来质谱学会工作的总结会, 也是质谱学的基础及方法、新技术及其应用成果的展示会。本次大会结合国际质谱技术的前沿及其应用进展, 将邀请杰出质谱学家作高水平的学术报告, 并组织多领域的质谱同行进行学术讨论, 分组专题报告, 交流近年来质谱及其相关领域的研究成果及应用经验; 另外质谱仪器公司还将介绍新产品、新技术及其应用新进展。

一、征文内容:

无机质谱学、有机质谱学、同位素质谱学、生物医学质谱学、质谱仪器制造和教育领域, 凡未公开发表并与上述议题相关的研究内容或有参考价值的综述均可投稿。请严格按照《质谱学报》增刊征文要求; 其中要求 A4 纸两页, 以 E-mail 邮件形式寄至以下联系人处。论文摘要将刊登于《质谱学报》增刊, 每页需交版面费为 150 元/页。

论文摘要详细要求及格式, 请参照《质谱学报》网站通知, 网址为: <http://www.jcmss.com.cn>。

二、报名回执和论文摘要截止日期: 2008 年 10 月 10 日

三、联系方式:

中国质谱学会办公室:

苏玉兰: 北京 275 信箱 88 分箱, 中国原子能科学研究院, 邮编: 102413;

电话: 010-69358057, 69357572; E-mail: cmss@ciae.ac.cn

《质谱学报》编辑部:

骆淑莉: 北京 275 信箱 65 分箱《质谱学报》编辑部, 邮编: 102413

电话: 010-69357734; E-mail: jcmss401@163.com

注: 详情也可登陆质谱学会网址: <http://www.cmss.org.cn>