

# 中国3块普通球粒陨石的Re-Os同位素地球化学

支霞臣 秦协 史仁灯 洪吉安

(中国科学院壳幔物质和环境重点实验室, 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 合肥 230026. E-mail: [xczhi@ustc.edu.cn](mailto:xczhi@ustc.edu.cn))

**摘要** 吉林陨石(H5)、亳县陨石(LL3.8)和庐江陨石(LL6)全岩及其磁性组分、非磁性组分和团块等分别测量了Re和Os元素丰度及Os同位素组成。结果表明3块陨石全岩的Re和Os元素丰度分别在对应的H群和LL群普通球粒陨石范围内。亳县陨石和庐江陨石磁性组分的Re和Os元素丰度在高Os含量的II AB+III AB铁陨石范围内。非磁组分的Re和Os元素丰度低于全岩。吉林陨石团块的Re和Os元素丰度在LL群范围内。3块陨石全岩的Re-Os同位素比值分布在II AB+III AB岩浆型铁陨石等时线附近的普通球粒陨石范围内。亳县陨石磁性和非磁性组分的Re-Os同位素比值有较大的变化范围。庐江陨石非磁性组分有近期Re的加入, 使其 $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ 比值明显偏离铁陨石等时线。吉林陨石团块的Re和Os元素丰度较全岩的低, 但 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值较全岩的高。

**关键词** Re-Os同位素 普通球粒陨石 亳县陨石 庐江陨石 吉林陨石

球粒陨石代表了太阳系早期原始凝聚物质, 是现在可以获得的代表太阳系早期物质最好的样品之一。通常组成球粒陨石的各组分, 球粒、Fe-Ni合金、难熔包体(包括富Ca-Al包体CAIs和蠕虫状橄榄石集合体AOAs)和细粒基质都有各自的形成和演化历史。球粒陨石就象是“太阳星云的沉积岩”, 不同组分反映了太阳系早期物质凝聚过程和复杂的演化历史。Re-Os同位素体系是长寿期放射性同位素体系之一, 它与U-Th-Pb, Sm-Nd, Lu-Hf, Rb-Sr和K-Ar等同位素体系一样适合于研究太阳系的早期物质。由于Re-Os同位素体系特殊地球化学性质引起样品化学处理和热电离质谱测量方面的困难, 直到20世纪90年代, N-TIMS方法的成功, Re-Os体系才渐趋广泛地应用于地球化学和天体化学研究<sup>[1,2]</sup>。对于陨石的研究不仅可以了解其自身的形成和演化历史, 太阳系早期物质凝聚和分异的历史, 陨石母星体的撞击-变质热事件和后期事件, 乃至陨石落地后的变化<sup>[3~6]</sup>。通过研究陨石为认识地球的形成和演化历史提供制约, 铁陨石的结晶分异过程和分异时间, 为了解地球形成时间、地核的形成和内外地核的分异过程提供制约; 球粒陨石的Re-Os同位素体系结合地球地幔物质的Re-Os同位素体系的研究, 有力地支持了地球早期增生和核-幔分异后存在“后增薄层”(late veneer)的假设<sup>[7~9]</sup>, 和后增的陨石物质不是碳质球粒陨石(CC), 而是顽火辉石球粒陨石(EC)和普通球粒陨石(OC)的

观点<sup>[10,11]</sup>。对于认识地球地幔的Re, Os元素乃至PGE(platinum group element)丰度和Os同位素组成与演化具有极其重要的意义<sup>[1,2]</sup>。铁陨石的Pt-Re-Os体系定年改进了 $^{190}\text{Pt}$ 和 $^{187}\text{Re}$ 放射性同位素的半衰期的精度<sup>[4,12]</sup>。

国际上对各类陨石(包括CC, EC, OC和各类铁陨石等)已经作了许多研究<sup>[3~6,12~18]</sup>。国内至今仅有一例报道, 即IIICD型董岭铁陨石的Re-Os同位素组成<sup>[19]</sup>, 国际文献中已报道了23块普通球粒陨石的Re-Os同位素体系<sup>[3,6,10]</sup>, 其中主要是H群普通球粒陨石, 包括在中国发现的安龙陨石(H5)、承德陨石(H5)和信阳陨石(H6)等<sup>[3]</sup>。国际文献中仅报道了2块L群陨石(Farmington和Chico)<sup>[3]</sup>和3块LL群陨石(Semarkona, Chainpur和St. Severin)<sup>[3,6]</sup>的Re-Os体系。本文报道了中国科学技术大学Re-Os同位素地球化学实验室新近对吉林陨石(H5)、亳县陨石(LL3.8)和庐江陨石(LL6)的全岩及其磁性组分、非磁组分和团块等的Re和Os元素丰度和Os同位素组成的测量结果。

## 1 样品和分析方法

本文报道的3块普通球粒陨石——吉林陨石、亳县陨石和庐江陨石, 以往都做过详细的岩矿和地球化学研究, 对前2块陨石已出版研究专集<sup>[20,21]</sup>, 有关的资料在此不再赘述。亳县陨石和庐江陨石的全岩粉末样品是以往研究工作中剩下的<sup>[21,22]</sup>。取出部分

粉末做全岩的Re-Os同位素分析, 其余部分用清洁塑料膜包裹的磁铁分离, 被磁铁吸取的粉末称磁性组分, 剩余的粉末称非磁性组分, 分别做Re-Os同位素分析. 吉林陨石是一小块状样品, 重量为 28.79 g, 由中国科学院广州地球化学研究所赵振华和谢先德研究员提供. 在无铁器污染条件下破碎研磨过程中, 出现一部分难以破碎的坚硬块状物, 文中称为团块分别取出作分析, 其余部分经玛瑙乳钵研磨至 200 目粉末做Re-Os同位素分析.

样品的Re-Os同位素化学分析是在中国科学技术大学地球和空间科学学院Re-Os同位素地球化学实验室完成的, 采用的方法详见报道 [23,24]. 按样品Re和Os含量高低, 精确称量<1 g的粉末样品, 装入Carius管中, 在-90℃的冷冻状态下依次加入 <sup>190</sup>Os稀释剂, 2 mL 12 mol/L的HCl, <sup>185</sup>Re稀释剂和 4 mL 15 mol/L HNO<sub>3</sub>, 密封后置于钢质保护管中在 230℃烘箱中连续加热 18 h左右, 冷却后将Carius管放入超声波振荡器中振荡 30 min左右, 再次置于钢质保护管中, 在 230℃的高温烘箱内持续加热 18 h.

Os的分离-提纯采用两次蒸馏法. 高温下样品分解后, 冷却开管. 溶液先用小型蒸馏装置提取Os, 利用高纯氮气将挥发性的OsO<sub>4</sub> 从溶液中带出, 由高纯浓HBr吸收, 还原OsO<sub>4</sub> 为OsBr<sub>6</sub><sup>2-</sup>[25]. 待充分还原后, 利用微蒸馏法再次纯化Os[26], 最后将OsBr<sub>6</sub><sup>2-</sup>溶液浓缩至 1 μL, 利用N-TIMS方法测定Os同位素比值. 测定采用中国科学技术大学地球和空间科学学院壳幔物质与环境重点实验室的Finnigan MAT262 热电离子质谱仪. 根据信号强度分别采用静态多Faraday杯系统或动态单一离子计数系统测量. 绝大多数样品<sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os测量的内精度(2σ<sub>E</sub>)优于 0.1%, Os同位素测量值经过质量分馏校正和氧同位素组成校正 [27], 按同位素稀释法原理计算Os含量. 在样品测量期间, 为了监控质谱仪的工作状态, 反复测量液体标样的<sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os比值, 多次测量的均值 <sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os=0.17368±0.00028(2σ<sub>SD</sub>, n=9), 在国外实验室报道的范围内 <sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os=0.17386±0.00054(2σ)[28].

部分样品未加 <sup>190</sup>Os 稀释剂仅能测量 Os 同位素比值, 为了与加稀释剂的测量比较(表 1).

表 1 毫县陨石、庐江陨石和吉林陨石的全岩、磁性组分和非磁性组分等 Re-Os 同位素结果<sup>a)</sup>

| 样品          | 样品类型  | 样品量/g  | Re/ng·g <sup>-1</sup> | 2σ   | Os/ng·g <sup>-1</sup> | 2σ   | <sup>187</sup> Os/ <sup>188</sup> Os | 2σ     | <sup>187</sup> Re/ <sup>188</sup> Os | 2σ    |
|-------------|-------|--------|-----------------------|------|-----------------------|------|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|-------|
| 毫县陨石(LL3.8) |       |        |                       |      |                       |      |                                      |        |                                      |       |
| BXWR        | 全岩    | 0.2347 | 23.27                 | 1.24 | 390                   |      | 0.1233                               | 0.0007 | 0.281                                | 0.032 |
| BXNC-NS**-1 | 非磁性组分 | 0.2353 |                       |      |                       |      | 0.1123                               | 0.0006 |                                      |       |
| BXNC-NS-2   | 非磁性组分 | 0.1002 |                       |      |                       |      | 0.1117                               | 0.0007 |                                      |       |
| BXNC-1      | 非磁性组分 | 0.1393 | 11.82                 | 0.22 | 190.6                 | 1.9  | 0.1196                               | 0.0007 | 0.292                                | 0.011 |
| BXNC-2      | 非磁性组分 | 0.1409 | 8.1                   | 1.5  | 162.6                 | 1.7  | 0.1118                               | 0.0008 | 0.2351                               | 0.007 |
| BXMC        | 磁性组分  | 0.0447 | 418                   | 21   | 3656                  | 37   | 0.1384                               | 0.0009 | 0.54                                 | 0.002 |
| 庐江陨石(L-6)   |       |        |                       |      |                       |      |                                      |        |                                      |       |
| LJWR-1      | 全岩    | 0.1479 | 22.45                 | 0.07 | 251.7                 | 1.3  | 0.1267                               | 0.0008 | 0.421                                | 0.013 |
| LJWR-2      | 全岩    | 0.1321 | 13.81                 | 0.02 | 162.6                 | 1.1  | 0.1248                               | 0.0006 | 0.401                                | 0.011 |
| LJNC-NS-1   | 非磁性组分 | 0.2171 |                       |      |                       |      | 0.1196                               | 0.0007 |                                      |       |
| LJNC-NS-2   | 非磁性组分 | 0.1433 |                       |      |                       |      | 0.1193                               | 0.0007 |                                      |       |
| LJNC-1      | 非磁性组分 | 0.6103 | 2.8                   | 0.5  | 28.41                 | 0.14 | 0.1194                               | 0.0007 | 0.4682                               | 0.005 |
| LJNC-2      | 非磁性组分 | 0.4034 | 2.6                   | 0.2  | 26.58                 | 0.13 | 0.1196                               | 0.0007 | 0.4669                               | 0.006 |
| LJMC-1      | 磁性组分  | 0.0479 | 573                   | 28   | 6526                  | 40   | 0.1291                               | 0.0006 | 0.415                                | 0.023 |
| 吉林陨石(H-5)   |       |        |                       |      |                       |      |                                      |        |                                      |       |
| JLWR-1      | 全岩    | 0.1691 | 80.1                  | 3.6  | 960                   | 5    | 0.1253                               | 0.0008 | 0.394                                | 0.036 |
| JLWR-NS-1   | 全岩    | 0.2239 |                       |      |                       |      | 0.1304                               | 0.0007 |                                      |       |
| JLWR-NS-2   | 全岩    | 0.2208 |                       |      |                       |      | 0.1268                               | 0.0008 |                                      |       |
| JLI-1       | 团块    | 0.5031 | 32.6                  | 4.7  | 285.63                | 1.5  | 0.1342                               | 0.0008 | 0.538                                | 0.044 |
| JLI-NS-1    | 团块    | 0.0789 |                       |      |                       |      | 0.1369                               | 0.0009 |                                      |       |
| JLI-NS-2    | 团块    | 0.3201 |                       |      |                       |      | 0.1368                               | 0.0009 |                                      |       |

a) 表中 Re, Os 含量和 <sup>187</sup>Re/<sup>188</sup>Os, <sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os 比值的误差(2σ)是采用误差传递公式计算的结果(本实验室未发表的资料). <sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os 比值的误差大于质谱测量的内精度. NS 表示未加稀释剂.

分离 Os 后的残液采用 AG1\*8 型阴离子树脂交换法分离和纯化 Re. 用 3 mL 0.8 mol/L  $\text{HNO}_3$ , 5 mL 8 mol/L  $\text{HNO}_3$ , 5 mL 8 mol/L  $\text{HNO}_3$ , 3 mL 0.8 mol/L  $\text{HNO}_3$  依次分别淋洗 AG1\*8 型阴离子树脂. 将分离 Os 后的残液在 115°C 蒸干, 加入 5 mL 0.4 mol/L  $\text{HNO}_3$  加热溶解沉淀物, 冷却后, 溶液离心 40 min 取上层清液, 过阴离子交换树脂, 依次用 6 mL 和 3 mL 0.8 mol/L  $\text{HNO}_3$  淋洗交换树脂, 用 5 mL 8 mol/L  $\text{HNO}_3$  洗脱 Re, 洗脱液在 115°C 蒸干, 加入 1 mL 3% 的  $\text{HNO}_3$  溶解. 用 ICP-MS 测定 Re 同位素比值, 按同位素稀释法原理计算 Re 含量. Re 测量采用南京大学地球科学系 Finnign MAT Element II 型 ICP-MS 仪器,  $^{185}\text{Re}/^{187}\text{Re}$  比值的多次测量精度 ( $2\sigma_E$ ) 为 1%. 不同浓度液体标样  $^{185}\text{Re}/^{187}\text{Re}$  比值的多次测量结果为  $0.597 \pm 0.003 (2\sigma)$ , 即 Re 元素的常用同位素丰度.

在陨石样品测量期间经多次测量实验室全流程本底 (FPB) Os 和 Re 分别为 3~10 和 1~3 pg, 实验室工作标样 (P-16) 7 次测量的结果为 Os 含量  $2.04 \pm 0.15 (2\sigma) \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值  $0.1219 \pm 0.0015 (2\sigma)$ , Re 含量  $0.098 \pm 0.009 (2\sigma) \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ . 均在实验室长期测量的范围内.

## 2 测量结果和讨论

表 1 列出 3 块陨石全岩、磁性组分、非磁性组分和团块的 Re-Os 同位素体系的测定结果.

### 2.1 Re 和 Os 元素丰度

根据近年来文献报道的球粒陨石包括 CC, EC 和 OC, 和主要为岩浆型高 Os 含量 II A 和 III A 和低 Os

含量 II B 和 III B 型铁陨石全岩的 Re 和 Os 元素丰度, 在对数-对数坐标系中呈现线性正相关分布 (图 1(a))<sup>[3,4]</sup>, Re-Os 丰度变化范围为 4~5 数量级. 其中球粒陨石的 Re 和 Os 丰度居于相关线中段, 变化范围小, 仅 1 个数量级. 铁陨石几乎在线性相关线上连续分布, 但大部分在球粒陨石丰度范围的两端, 在该范围内的铁陨石很少, 高 Os 含量铁陨石的 Os/Re 比值较低 Os 含量铁陨石的要大些, 因为在液态金属相分离结晶时 Os 较 Re 优先进入固态金属相. 毫县陨石、庐江陨石和吉林陨石全岩的 Re 和 Os 丰度分布在球粒陨石范围内. 毫县陨石和庐江陨石磁性组分的 Re 和 Os 丰度分布在高 Os 铁陨石全岩范围内, 非磁性组分的 Re 和 Os 丰度分布在低 Os 铁陨石全岩范围内. 吉林陨石团块的 Re 和 Os 丰度较全岩的低, 分布在球粒陨石丰度范围的低端 (图 1(a)). 庐江陨石的磁性组分和非磁性组分的 Re 和 Os 丰度变化范围最大, 达 3 个数量级; 毫县陨石相应的范围为 2 个数量级; 吉林陨石全岩和团块的 Re 和 Os 丰度相差小于 1 个数量级 (图 1(a)).

在普通球粒陨石全岩的 Re 和 Os 元素丰度范围 (图 1(b)), H 群分布范围最大, Re 含量 40~140  $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , Os 含量 300~1500  $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ; LL 群含量低分布窄, Re 和 Os 含量变化分别为 10~40 和 150~400  $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ; L 群与 H 群的低端重叠 Re 和 Os 含量分别低于 60 和 700  $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ . 吉林陨石 (H5) 全岩的 Re 和 Os 含量几乎在 H 群的中间位置, 毫县陨石 (LL3.8) 全岩的 Re 和 Os 含量在 LL 群的中间位置, 庐江陨石 (LL6) 全岩的 Re

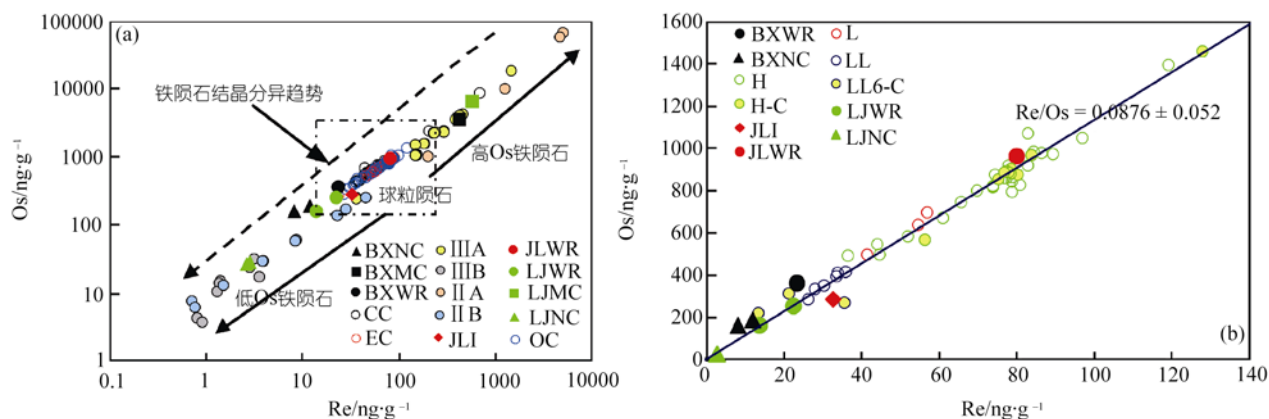


图 1

(a) 陨石的 Re-Os 丰度图. 数据来源: 铁陨石<sup>[4]</sup>, 球粒陨石<sup>[3]</sup>, 主要为全岩的丰度. 毫县陨石、庐江陨石和吉林陨石全岩及其组分数据引自本文. 图例中英文含义详见表 1. 点线框表示球粒陨石的丰度范围, 放大部分见 (图 1(b)). 蓝色矢线表示铁陨石结晶分异方向, 黑色细矢线表示高 Os 和低 Os 含量铁陨石的丰度范围. (b) 图 1(a) 中普通球粒陨石 Re-Os 丰度的放大图. 数据来源: H 和 LL 群 OC<sup>[3]</sup>, LL6-C 和 H-C<sup>[6]</sup>, 毫县陨石、庐江陨石和吉林陨石引自本文. 蓝线为普通球粒陨石平均 Re/Os 比值<sup>[3]</sup>

和Os含量在LL群的低端,与陨石St. Severin (LL6) [6] 的几乎相同. 在确定庐江陨石的类型时曾有L群和LL群的异义, 因为其总Fe量为 213 mg/g, 总Ni量为 12.5 mg/g, FeO/Fe比为 0.66, Fe/Si摩尔比为 57 等显示了L群特征, 而Fa为 27.8, Fs为 23.8, 铁纹石中的Co含量为 25.6 mg/g等显示了LL群特征(洪吉安, 内部资料), 根据其Re和Os丰度支持划分为LL群. 毫县陨石和庐江陨石非磁性部分的Re和Os含量很低, 低于LL群陨石低端(图 1(b)). 吉林陨石团块的Re-Os含量与LL群陨石的低端相似(图 1(b)).

## 2.2 Re-Os 同位素比值

岩浆型铁陨石中数量最多的两群 II AB和IIIAB的 Re-Os同位素体系定年可以获得高精度的等时线. 陨石从太阳星云中凝聚到分异, 从液态金属相分离结晶为固态金属相一般在太阳系最初 0~20 Ma间隔内 [4], 结晶过程中Re和Os元素在固-液相间的分配不同, 随结晶作用的进行固相中的Re/Os比值在增加, 随时间的积累使得  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值随之增大. 低Os含量的铁陨石较高Os含量的  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值要高些 [4]. 图 2 中的 II AB+IIIAB等时线是根据实测数据 [4] 拟合的, 以此作为讨论OC的Re-Os同位素体系行为的参照. 文献中报道的OC的Re-Os同位素比值 [3,6] 相对于 II AB+IIIAB等时线比较分散, H群数据较多也较分散, LL群数据较少比较集中 [3], 基本上都在铁陨石等时线上, 不过Chen等人 [6] 报道的St. Severin (LL6) 的全岩结果有很大的变化范围, L群数据少而偏离等时线 (图 2). 毫县陨石、庐江陨石和吉林陨石全岩的Re-Os同位素比值基本上沿铁陨石等时线分布, 且在文献报道的OC类范围内, 但都低于OC类的平均值(图 3), 基本上处于  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  范围的低端, 尤其毫县陨石. 庐江陨石和毫县陨石磁性组分的  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值比全岩的高, 毫县陨石非磁组分的Re-Os同位素组成在岩浆型铁陨石等时线附近, 而庐江陨石非磁组分的  $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$  比值明显大于岩浆型铁陨石等时线. 吉林陨石团块的  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值高于普通球粒陨石全岩平均值, 但是  $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$  比值大于岩浆型铁陨石的比值, 位于等时线右侧(图 3).

毫县陨石全岩、磁性组分和非磁性组分的 Re-Os同位素组成基本上沿岩浆型铁陨石等时线分布, 其  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值与Os含量倒数( $1/\text{Os}$ )呈负相关的线性关系(未图示), 表明了三者之间的混合关系, 陨石磁性组分具高  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值和高 Os 含量, 非磁性组

分具低  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值低 Os 含量, 两种组分不同比例混合, 表现出  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值与含量的混合关系.

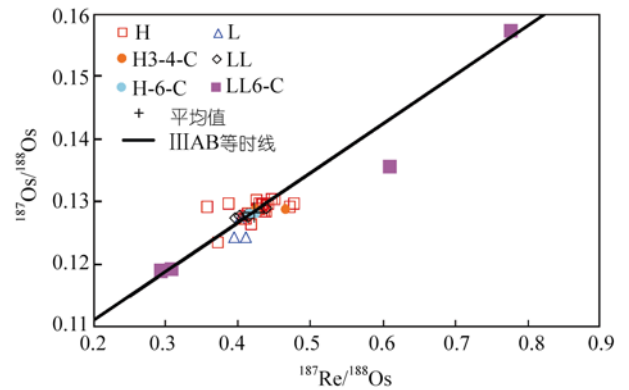


图 2 普通球粒陨石的 Re-Os 同位素组成  
数据来源: H, L和LL群陨石和平均值 [3], LL6-C, H3-4-C和H-6-C群 [6], II AB+III AB群铁陨石等时线 [4]

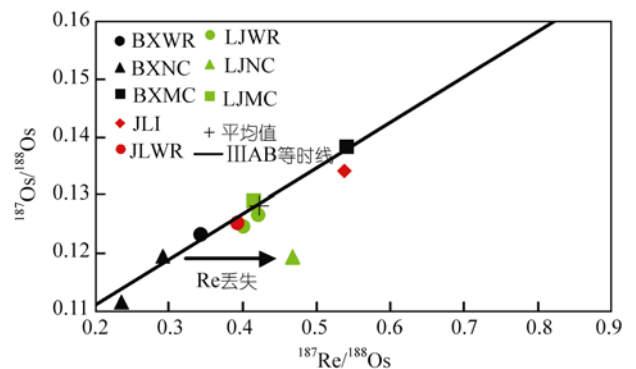


图 3 毫县陨石、庐江陨石和吉林陨石全岩、磁性组分和非磁性组分等的 Re-Os 同位素组成  
数据来源普通球粒陨石的平均值 [3], II AB+III AB铁陨石等时线 [4]

庐江陨石全岩、磁性组分和非磁性组分的  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值关系与毫县陨石的类似, 磁性组分具高  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值, 非磁性组分具低  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值. 磁性组分和全岩基本上沿岩浆型铁陨石的等时线分布, 非磁性部分的  $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$  比值偏离等时线较远, 表明Re-Os体系的近期扰动, 可能是近期的Re加入. 庐江陨石存在明显的氧化作用, 全岩的 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量为 6.65%,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  含量为 1.73%, 有明显的铁染现象, 铁染部分 $\delta^{18}\text{O}$ 为 7.1‰(V-SMOW) [29]. 在氧化过程中陨石中各组分间的Re-Os体系可能活化开放, 尤其非磁性组分相对的Re加入或Os丢失使其  $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$  比值增大, 偏离了岩浆型铁陨石的等时线(图 3). 但是其  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值仍低于全岩的, 表明Re-Os体系的扰



动发生在近期, 否则在长期演化过程中会造成高 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值。

### 3 结论

普通球粒陨石全岩的Re和Os元素丰度变化范围分别为13~120和220~1394  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ <sup>[13]</sup>。已发表的数据中H群陨石数量多, Re和Os丰度变化范围大, LL群和L群陨石数量少, Re和Os丰度低, 处于OC范围的低端。吉林陨石、亳县陨石、庐江陨石全岩的Re和Os丰度处于上述变化范围内, 庐江陨石处于最低端与St. Severin陨石(LL6)低含量部分的相似<sup>[6]</sup>。亳县陨石和庐江陨石磁性组分的Re和Os丰度很高, 处于岩浆型铁陨石的高Os组全岩范围内<sup>[4]</sup>, 它们的非磁性组分的Re和Os丰度很低, 尤其庐江陨石非磁性组分的Re和Os含量比LL群低端的还要低。庐江陨石的分类是L群还是LL群曾有不同意见, 其Re和Os丰度支持它为LL群。吉林陨石中团块Re和Os丰度较低。

吉林陨石、亳县陨石、庐江陨石全岩的 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 和 $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ 比值与普通球粒陨石全岩的相似, 基本上分布在IIAB+IIIAB铁陨石等时线周围的有限范围内。通常陨石的磁性组分较非磁性组分具有高的 $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ 和 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 组成, 不同组分之间的差异反映了陨石形成以来的长时演化历史, 庐江陨石非磁性组分较高的 $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$ 比值反映了Re-Os体系的近期扰动。

致谢 在本校使用Finnigan MAT-262质谱测量Os同位素期间得到谢智博士的帮助; 在南京大学地质科学系使用Finnigan MAT Element II ICPMS测量Re期间得到高建峰博士的帮助; 吉林陨石样品由中国科学院广州地球化学研究所赵振华和谢先德研究员提供; 两位匿名评审专家提出的修改意见和建议提高了论文质量, 在此一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- Shirey S B, Walker R J. The Re-Os isotope system in cosmochemistry and high-temperature geochemistry. *Annu Rev Earth Planet Sci*, 1998, 26: 422—500[DOI]
- Carlson R W. Application of the Pt-Re-Os isotopic systems to mantle geochemistry and geochronology. *Lithos*, 2005, 82: 249—272[DOI]
- Walker R J, Horan M F, Morgan J W, et al. Comparative  $^{187}\text{Re}$ - $^{187}\text{Os}$  systematics of chondrites: Implications regarding early solar system process. *Geochim Cosmochim Acta*, 2002, 66: 4187—4201[DOI]
- Cook D L, Walker R J, Horan M F, et al. Pt-Re-Os systematic of group II AB and III AB iron meteorites. *Geochim Cosmochim Acta*, 2004, 68: 1413—1430[DOI]
- Chen J H, Papanastassiou D A, Wasserburge G J. Re-Os and Pd-Ag systematics in Group III AB irons and in pallasites. *Geochim Cosmochim Acta*, 2002, 66: 3793—3810[DOI]
- Chen J H, Papanastassiou D A, Wasserburge G J. Re-Os systematics in chondrites and the fractionation of the platinum group elements in the early solar system. *Geochim Cosmochim Acta*, 1998, 62: 3379—3392[DOI]
- Kimura K, Lewis R S, Anders E. Distribution of gold and rhenium between nickel-iron and silicate melts: Implications for the abundance of siderophile elements on the Earth and Moon. *Geochim Cosmochim Acta*, 1974, 38: 683—701
- Chou C L. Fractionation of siderophile elements in the earth's upper mantle. *Proc Lunar Planet Sci Conf*, 9th, 1978. 219—230
- Morgan J W. Osmium isotope constraints on Earth's late accretionary history. *Nature*, 1985, 317: 703—705[DOI]
- Meisel T, Walker R J, Morgan J W. The osmium isotopic composition of the Earth's primitive upper mantle. *Nature*, 1996, 383: 517—520[DOI]
- Meisel T, Walker R J, Irving A J, et al. The Osmium isotopic compositions of mantle xenoliths: A global perspective. *Geochim Cosmochim Acta*, 2001, 65: 1311—1323[DOI]
- Smoliar M I, Walker R J, Morgan J W. Re-Os Ages of Group II A, III A, IV A, and IV B Iron Meteorites. *Science*, 1996, 271: 1099—1102[DOI]
- Brandon A D, Humayun M, Puchtel I S, Z et al. Re-Os isotopic systematics and platinum group element composition of the Tagish Lake carbonaceous chondrite. *Geochim Cosmochim Acta*, 2005, 69: 1619—1631[DOI]
- Horan M F, Walker R J, Morgan J W, et al. Highly siderophile elements in chondrites. *Chem Geol*, 2003, 196: 5—20[DOI]
- Horan M F, Smoliar M I, Walker R J.  $^{182}\text{W}$  and  $^{187}\text{Re}$ - $^{187}\text{Os}$  systematics of iron meteorites: Chronology for melting differentiation, and crystallization in asteroids. *Geochim Cosmochim Acta*, 1998, 62: 545—554[DOI]
- Becker H, Morgan J W, Walker R J, et al. Rhenium-osmium systematics of calcium-aluminum-rich inclusions in carbonaceous chondrites. *Geochim Cosmochim Acta*, 2001, 65: 3379—3390[DOI]
- Shen J J, Papanastassiou D A, Wasserburge G J. Precise Re-Os determinations and systematics of iron meteorites. *Geochim Cosmochim Acta*, 1996, 60: 2887—2900[DOI]
- Morgan J W, Horan M F, Walker R J, et al. Rhenium-osmium concentration and isotope systematics in group II AB iron meteorites. *Geochim Cosmochim Acta*, 1995, 59: 2331—2344[DOI]
- 孙卫东, 杜安道, 杨刚, 等. 董岭III CD铁陨石的Re-Os同位素组成. *科学通报*, 2001, 46(1): 66—68
- 吉林陨石雨论文集编辑组. 吉林陨石雨论文集. 北京: 科学出版社, 1979. 308
- 王奎仁, 陈江峰, 彭子成, 等. 亳县陨石研究. 北京: 科学出版社, 1998. 188
- 洪吉安, 王奎仁, 高大旗, 等. 庐江陨石的化学组成. *高校地质学报*, 1999, 5(4): 391—394
- 靳永斌, 支霞臣, 孟庆, 等. 大别山北部绕拔寨超镁铁岩体的形成时代: Re-Os同位素法定年. *科学通报*, 2003, 48(24): 2560—2565
- 孟庆, 郑磊, 夏琼霞, 等. 镁铁-超镁铁岩-钼同位素体系分析方法. *岩矿测试*, 2004, 23(2): 92—96
- Nägler T F, Frei R. "Plug in" Os distillation. *Schweiz Mineral Petrogr Mitt*, 1997, 77: 123—127
- Birck J L, Roy Barman M, Capmas F. Re-Os Isotopic Measurements at the Femtomole Level in Nature Samples. *Geostand News*, 1997, 21(1): 19—27[DOI]
- 郑磊, 支霞臣, 靳永斌. NTIMS法测量Os同位素组成的质量分馏校正. *质谱学报*, 2004, 25(4): 193—197
- Reisberg L, Lorand J P, Bedini R M. Reliability of Os model ages in pervasively metasomatized continental mantle lithosphere: A case study of Sidamo spinel peridotite xenoliths (East African Rift, Ethiopia). *Chem Geol*, 2004, 208: 119—140[DOI]
- 洪吉安, 高大旗, 王奎仁, 等. 安徽庐江陨落的石陨石. *科学通报*, 1999, 44(7): 769—771