

80 Ma 以来海水 Os 同位素组成曲线的精细特征：中、西太平洋多金属结壳的记录

王 洋, 方念乔

(中国地质大学 海洋学院, 北京 100083)

摘要: 80 Ma 以来的海水 Os 同位素标准曲线具有 K/T(白垩纪/第三纪)界线低值、E/O(始新世/渐新世)界线低值和中新世“挠曲”3 个特征形态, 这可以解释为陨击事件或超基性岩风化事件造成的陆、幔源物质供给关系的变化。将海水 Os 同位素标准曲线与多金属结壳 Os 同位素组成曲线进行对比, 根据形态和取值的贴合程度可以为结壳进行年代厘定。由于取样精度的限制和生长间断的广泛存在, 仅以此 3 个特征比对曲线存在不确定性。本研究综合对比中、西太平洋 6 块结壳的 Os 同位素组成曲线, 总结出了 4 种记录在结壳中的海水 Os 同位素曲线的特征规律: K/T 界线之前的“早期异常(波动)” ; E/O 界线之后曲线上升过程中的“小停顿” ; E/O 界线之后曲线上升过程末尾的“异常偏高点” ; “中新世‘挠曲’错后”至 10 Ma 左右。这些新的特征形态可作为年代控制点, 使得结壳年代框架的厘定可以更准确可靠。这 4 种特征形态可以初步解释为地质历史时期海洋中、幔源物质的供应关系变化或是看作随着数据的积累而对标准曲线的细化和校正。

关键词: 结壳; Os 同位素; 标准曲线; 中、西太平洋

中图分类号: P67 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)09-0021-08

DOI: 10.11759/hyxx20200203002

陆源物质随河流或风尘入海、火山和热液等幔源物质入海、宇宙源物质溶解入海是海水中 Os 的主要来源^[1]。在 Os 的 7 种同位素中, ¹⁸⁷Os 多为放射性成因, 是由富集于陆源物质中的 ¹⁸⁷Re 通过 β 衰变而成的(也包括 ¹⁸⁷Re 的原位衰变), 而 ¹⁸⁸Os 多为非放射性成因, 来自地幔分异过程中保留在地幔中(也包括外源物质)的部分。这造成了壳、幔源物质中 Os 同位素组成(¹⁸⁷Os/¹⁸⁸Os)的巨大差别, 其中大陆风化物约为 1.54^[2], 地幔和陨石约为 0.12^[3-5], 使得 Os 同位素组成成为识别壳、幔来源物质的良好示踪剂。

海水的 Os 同位素组成被记录在多金属结壳等水成矿物中, 80 Ma 以来的海水 Os 同位素演化曲线(即标准曲线)是基于深海远洋黏土、富金属碳酸盐和富有机质沉积物中 Os 同位素的数据进行整合框定的^[6-9]。该曲线显示的主要特征形态有 3 种, 其中 K/T(白垩纪/第三纪)界线和 E/O(始新世/渐新世)界线的两个极低值峰一般被认为与两次陨击事件^[8]或超基性岩风化事件有关^[10], 而中新世(15 Ma 附近)的挠曲(即曲线持续上升过程中的一次回调)则可能与哥伦比亚河超基性岩风化事件有关^[11]。

基于海水 Os 同位素标准曲线的整体形态和以上

3 种特征形态, Klemm^[9]等尝试通过直接比对中太平洋结壳 CD29-2 与大洋海水的 Os 同位素组成曲线来为其定年, 初步确立了 Os 同位素标准曲线对结壳的定年方法(下文称 Os 法或 Co-Os 法定年)。此后, 符亚洲等分别参照此方法尝试为结壳定年^[12-16], 但是由于结壳构造层的多样性与不规则性和生长间断的广泛存在, 定年结果往往存在较大不确定性。在与标准曲线比对的过程中, 依据仅此 3 个特征形态来定位显得比较粗糙, 而目前的标准曲线形态分辨率不高, 亟需更多更精确的特征形态的发现。

本研究将中、西太平洋 6 块多金属结壳样品的 Os 同位素组成与海水 Os 同位素曲线^[9]对比, 在厘定结壳年代框架的同时, 拟进一步发掘记录在结壳中更细微的 Os 同位素组成变化, 从而为 Os 法定年提

收稿日期: 2020-02-03; 修回日期: 2020-03-06

基金项目: 中国大洋矿产资源研究开发协会“十三五”资源环境项目(DY135-C1-1-06)

[Foundation: Resources and Environment Program of China Ocean Mineral Resources R & D Association During the “13th Five-year” National Program, No. DY135-C1-1-06]

作者简介: 王洋(1991-), 男, 回族, 北京人, 博士研究生, 主要从事多金属结壳与古海洋学研究, E-mail: WangY_SOS@cugb.edu.cn

供更多的依据。

1 材料和分析方法

本研究样品分别采自中、西太平洋偏西部的麦哲伦海山区(MS1: 153.3°E, 12.1°N, 2 128 m, 直径约 10 cm)和马绍尔海山区(MHD79: 163.2°E, 11.7°N, 2 381 m, 厚度约 10 cm), 偏北部的马尔库斯威克海山区(CLD34-2: 160.5°E, 21.67°N, 2 157 m, 厚度约 1.5 cm; CLD50: 160.5°E, 21.67°N, 2 225 m, 壳层厚度约 4 cm), 以及偏东部的莱恩海山区(MP3D10: 165.3°W, 13.2°N, 2 739 m, 厚度约 7 cm; MP3D22: 166.1°W, 14.3°N, 3 214 m, 厚度约 8 cm), 取样位置如图 1 所示。除呈结核状的 MS1 和单层结壳 CLD34-2

以外, 其余 4 块皆为由顶至底的较致密层-疏松层-致密层 3 层壳壳(以 MP3D10 为例, 如图 2A 所示), 壳层以纹层状和柱状构造为主(镜下构造照片见图 3)。

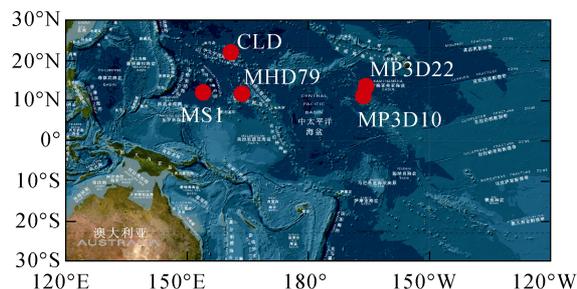


图 1 中、西太平洋多金属结壳取样位置图
Fig. 1 Sampling position of polymetallic crusts

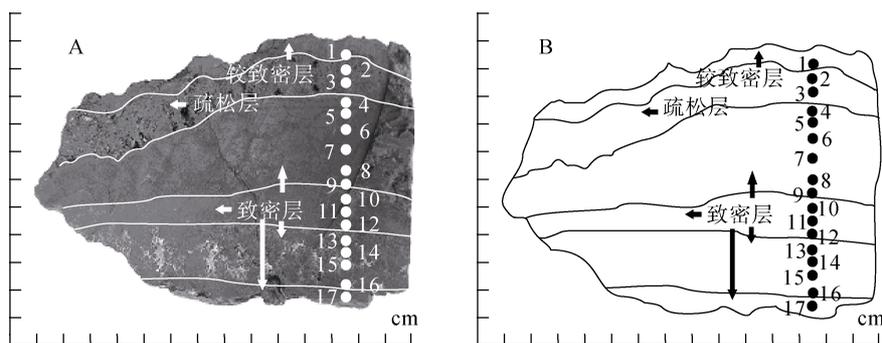


图 2 MP3D10 样剖面照片及取样位置示意图
Fig. 2 Profile photo and sampling position of MP3D10

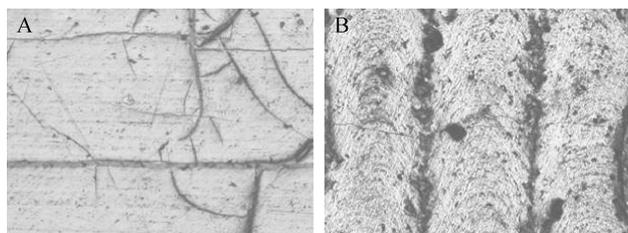


图 3 壳层典型构造的镜下照片
Fig. 3 Microscopic photos of typical structures
A. 纹层状, B. 柱状
A. Laminated, B. Columnar

对结壳样品依生长层逐层取样, 由顶至底分别取样 7~22 层, 取样厚度为 mm 级(以 MP3D10 为例, 取样点位如图 2B 所示)。首先沿垂直生长层方向将样品切割成 1~2 cm 厚的小片, 以方便后续的精细取样。选用小型手钻 1.0 mm 的钻头, 逐层钻取粉末样品, 每层取样总质量约 2 g, 磨制成 200 目(<74 μm)粉末样以待测试。在取样过程中密闭无关层位, 及时清理碎末和钻具, 尽量防止混样。同时, 将取得的粉末样品保存在纸袋中, 以尽可能地避免样品由于静

电吸附造成的损失。

样品的 Os 同位素测定分先后 3 批由国家地质测试中心完成, 仪器分别采用了 MAT262 带有负离子转换装置的负离子热表面电离质谱仪(美国 Finnigan 公司, 铂带选用美国 ESPI 公司产品, 规格 0.001" T × 0.03" W, 纯度 w(Pt)=99.999%), Triton-plus 热表面电离质谱仪(Thermo Fisher Scientific 公司生产, 铂带选用美国 H. Cross 公司产品, 规格 0.7 mm × 0.025 mm, 纯度 w(Pt)=99.999%), 详细实验方法如 Du^[17]等所述。其中, Teflon 尖底瓶(5 mL)为美国 Nalgene 公司生产产品, 稀释剂 ¹⁸⁵Re 金属粉和 ¹⁹⁰Os 金属粉为美国橡树岭国家实验室(ORNL)产品。采用 Carius 管分解样品(调节温度到 -50°C~80°C, 烘箱温度 230°C, 保温 10 h), 以 OsO₃⁻离子, 采用输氧技术测定(真空 1×10⁻⁵ Pa, 氧气气压 5×10⁻⁵ Pa)。所有数据的平均不确定度为 0.003 7。Co 元素百分含量由中国地质大学(北京)地学实验中心, 国家地质测试中心和核工业北京地质研究院分析测试研究所测定, 所用仪器分别为 Platform 电感耦合等离子质谱仪, PE8300 等离

子质谱仪和 JXA8100 电子探针仪, 采用 LY/T1253—1999, GB/T 15074—2008 等测试标准。

多金属结壳年代框架由 Co-Os 法定年体系厘定: 根据结壳分层 Co 百分含量数据, 采用区域性适用的 Co 经验公式(如 Manheim^[18]等或 McMurtry^[19]等)估算生长速率, 结合取样厚度, 计算结壳单层的生长年龄, 之后进行累加, 得到 Co 法年龄。以 Co 法年龄作为横坐标, 测得的 Os 同位素比值作为纵坐标, 得到的曲线与标准曲线进^[9]行比对, 划分出样品的生长、间断年代区间。将 6 块样品的 Co-Os 曲线进行对比, 总结其形态特征规律。

2 结果

2.1 Co、Os 元素含量剖面变化

结壳样品的分层 Co 百分含量剖面如图 4 所示。Co%在剖面上整体的变化幅度不大, 大部分振幅在 0.6%之内, 分布相对比较均一。样品 Co%整体上有着不甚明显的自底至顶逐渐上升的变化趋势, 如典型的 3 层结壳 MHD79 和 MP3D10 以及非典型的 3 层结壳 CLD50, 另一 3 层构造样品 MP3D22 则只在表层 20 mm 出现 Co%飙升的变化特征。Co%剖面变化的另一特征是其在表层的降低, 如样品 MS1 和 CLD34-2,

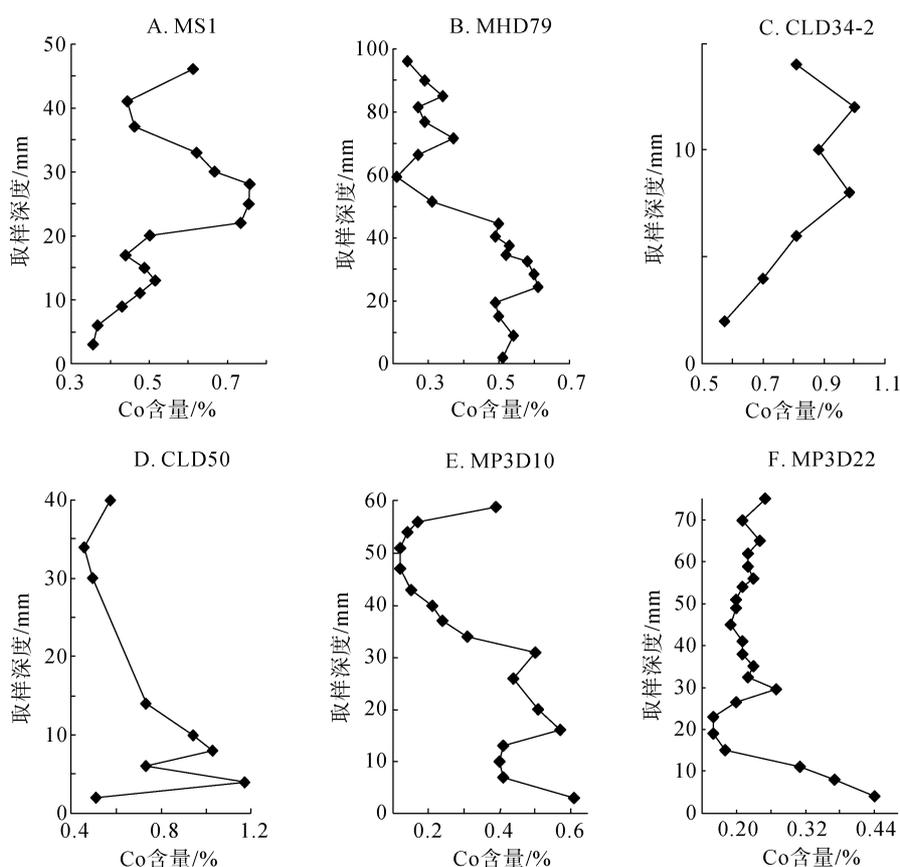


图 4 结壳 Co 百分含量的取样深度剖面

Fig. 4 Sampling depth profile of Co wt% in crusts

其 Co%在结壳表层 20 mm 逐渐下降。这个特征可能是普遍存在的, 如在样品 MHD79 和 CLD50 的最表层也有所体现, 而没有体现出这一特征的样品可能是因为在表层的取样精度有限。Co%在表层下降的趋势所对应的壳层深度不同, 这可能是由于不同样品表层的生长年代和生长速率不同而导致的。

图 5 显示了结壳 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 在取样深度剖面上的变化特征, 结壳的 Os 同位素组成在取样深度上的

变化规律较为明显。对于壳层不完整的样品和具典型 3 层构造的样品的中部和上部层位, 结壳 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值持续上升, 这说明这些样品或层位的年龄相对较轻, 且由里至表, 逐层记录了海水 Os 同位素组成由古至今的变化特征。MP3D22 样则显得比较特殊, 其 Os 同位素组成在表层的上升区间仅限于表层 10 mm 以内, 说明这块样品可能年轻壳层出现了缺失。对于典型 3 层结壳的中下部层位, Os 同位素

组成相对较低,这说明其生长时代较老,也反映了海洋 Os 同位素组成在早期的变化过程。MP3D22 样

在中老壳层的 Os 同位素组成相对其他样品较高,可能预示着这个样品的成矿机制有所不同。

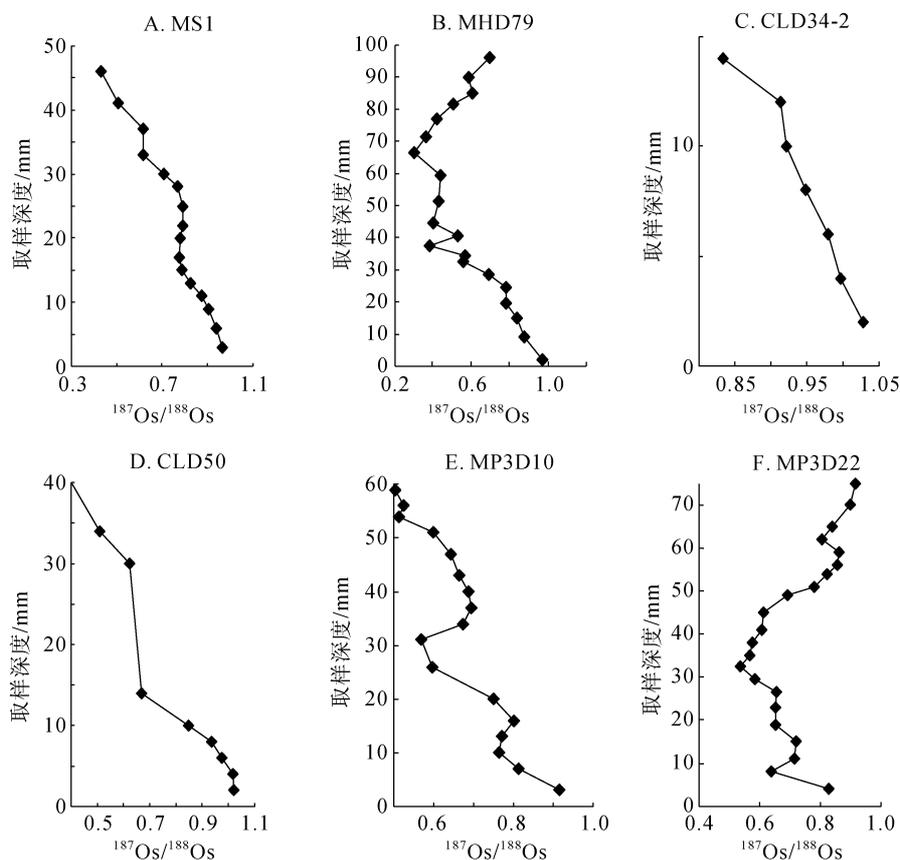


图 5 结壳 Os 同位素组成的取样深度剖面

Fig. 5 Sampling depth profile of Os isotope composition in crusts

2.2 样品的 Co-Os 年代框架

将中、西太平洋 6 个结壳样品的 Co-Os 曲线,分别与 Os 同位素标准曲线比对,同时参考基岩年龄、Co 法和 Os 法文献资料、超微化石年代学资料、磷酸盐化事件期次和结构构造特征等相关证据,得到的中、西太平洋结壳的年代框架如表 1 和图 6 所示。

表 1 中、西太平洋多金属结壳年代框架

Tab. 1 Age frames of crusts from Central-Western Pacific

样品编号	年代框架/Ma
MS1	54...36-28...17-10...8...4-1
MHD79	79-75...68-65...55-51...43-40...35-28...11-3
CLD34-2	8-1
CLD50	35-32...13...6-1
MP3D10	65...57-54...42-40...35-28...12-10...3
MP3D22	81-78...70-66...61-56...35-31...11...8

注: Co 经验公式法结合 Os 同位素标准曲线法,短横线连接生长期,点线连接间断期

结果显示,中、西太平洋结壳主要在 80 Ma~75 Ma、70 Ma~65 Ma、55 Ma~51 Ma、42 Ma~40 Ma、35 Ma~28 Ma、15 Ma~10 Ma、8 Ma~0 Ma 年代区间内生长,在 65 Ma~60 Ma、51 Ma~42 Ma、40 Ma~35 Ma 和 28 Ma~18 Ma 年代区间内发生间断。

3 讨论

本研究通过对中、西太平洋 6 个结壳样品的定年工作,总结了 Os 同位素曲线的 4 种新曲线特征形态,这些特征在曲线形态上普遍性存在。如图 6 所示,绿色框体为,这 4 个新特征为:

3.1 K/T 界线之前的“早期异常(波动)”特征

在晚白垩世,海水的 Os 同位素曲线并非如标准曲线那样维持稳定,而是具有一种波动特征,主要表现为连续下降过程中的挠曲。如马绍尔海山区的结壳 MHD79 和莱恩海山区的结壳 MP3D22,挠曲发生

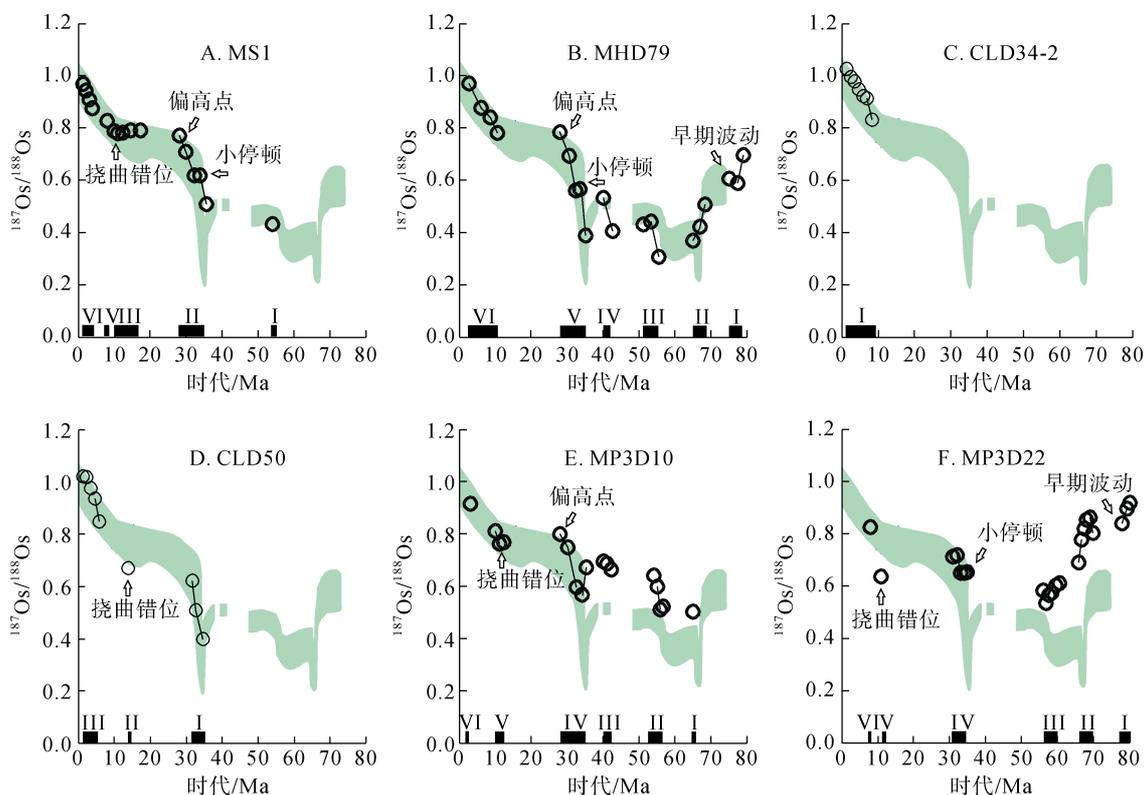


图 6 中、西太平洋多金属结壳 Os 同位素曲线与标准曲线比对示意图(Co-Os 法年代框架示意图)

Fig. 6 Comparison of Os isotope curves of polymetallic crusts in the Central and Western Pacific and standard curve

注: 绿色框体为 80 Ma 以来的海水 Os 同位素组成演化曲线^[9], 空心圆为结壳 Os 同位素组成测定值, 横坐标上的黑色线段为生长期。曲线展现出了“早期波动”、“小停顿”、“偏高点”和中新世“挠曲错位”4 种特征形态。A. 麦哲伦海山区样品 MS1, B. 马绍尔海山区样品 MHD79, C. 马尔库斯威克海山区样品 CLD34-2, D. 马尔库斯威克海山区样品 CLD50, E. 莱恩海山区样品 MP3D10, F. 莱恩海山区样品 MP3D22

Note: The green frames are the standard curve^[9]. The hollow circles are the measured value of Os isotopic composition of crusts. The black lines on the abscissa are the growing period. The curve shows four characteristics including “early fluctuation” before K/T boundary, “small pause”, “higher point” after E/O boundary and “kink malposition” in Miocene. A. MS1 from Magellan seamounts, B. MHD79 from Marshall seamounts, C. CLD34-2 from Marcus-Wake seamounts, D. CLD50 from Marcus-Wake seamounts, E. MP3D10 from Line seamounts, F. MP3D22 from Line seamounts

于 80 Ma~70 Ma 左右。本研究中两块年龄达到 80 Ma 附近的结壳样品都体现出了这种特征形态, 说明了这种波动的普遍性。在 Klemm^[9]等的研究中, 由于少有年龄达到 75 Ma 以老的数据, 从而无法框出较早的标准曲线形态, 但其对早期波动的存在持开放态度。

3.2 E/O 界线之后上升过程中的“小停顿”

曲线在 E/O 界线和中新世“挠曲”之间的持续上升区间内, 存在一次停顿现象。如麦哲伦海山区的结壳 MS1, 马绍尔海山区的结壳 MHD79 和莱恩海山区的结壳 MP3D22, 另一莱恩海山区样品 MP3D10 则表现得不明显。发生“停顿时”, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 值在 0.5~0.7 左右, 年代在 35 Ma~30 Ma 左右。本研究中, 6 块样品中有 3 块展现出了这一特征形态。余下 3 块

中, 马尔库斯威克海山区结壳 CLD34-2 始生长年代较晚, 年代框架没有覆盖到这个范围; 而马尔库斯威克海山区的另一样品 CLD50 和莱恩海山区的另一样品 MP3D10 则可能由于取样精度的问题没能在这个区间内取到反映此特征形态的点位。Klemm^[9]等报道的中太平洋结壳样品 CD29-2 的 Os 同位素曲线中也表现出了“小停顿”特征。

3.3 E/O 界线之后上升过程末尾的“异常偏高点”特征

曲线在在 E/O 界线和中新世“挠曲”之间的持续上升区间末尾, 存在 1 个相对标准曲线小幅偏高点。如麦哲伦海山区的结壳 MS1, 马绍尔海山区的结壳 MHD79, 莱恩海山区的结壳 MP3D10, 偏高点

的 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 取值在 0.8 以上, 略高于标准曲线的取值区间, 其年龄在 30 Ma 左右。本研究中, 6 块样品中有 3 块展现出了这一特征形态。与上一特征相似, 其余 3 块未展现出相关特征的原因是生长年龄较轻或未取到样。Klemm^[9]等报道的中太平洋结壳样品 CD29-2 的 Os 同位素曲线中也表现出了“异常偏高点”的特征。

3.4 中新世“‘挠曲’错后”至 10 Ma 左右的特征

与标准曲线 E/O 界线之后的两次持续上升区间之间的“挠曲”位于 15 Ma 附近不同, 本研究样品 Os 同位素曲线显示的挠曲相对“错后”。如麦哲伦海山区的结壳 MS1 和莱恩海山区的结壳 MP3D10, 挠曲位于 13 Ma~10 Ma 附近, 发生挠曲时的 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 的取值在 0.7~0.8。然而, 6 个样品中, 仅 MS1 的特征较为明显, MP3D10 次之, 其余 4 个样品在此年代区间内无点位(如马绍尔海山区的结壳 MHD79 和马尔库斯威克海山区的结壳 CLD34-2)或取样点甚少(如马尔库斯威克海山区的结壳 CLD50 和莱恩海山区的结壳 MP3D22), 这说明“挠曲”形态出现的时代实际上也是一个普遍存在的间断期, 古海洋环境不利于结壳发育。值得一提的是, Klemm^[9]等厘定的中太平洋结壳样品 CD29-2 的 Os 同位素曲线中也表现出了明显的“挠曲错位”的特征。同时, Klemm^[9]等的研究中较好的取样精度使得结壳 15 Ma 以来的 Os 同位素曲线细微特征得以显现, 值得进一步的关注与研究。另外, 本文研究的马尔库斯威克海山区样品 CLD50 和莱恩海山区样品 MP3D22 在 15 Ma~10 Ma 的年代区间内的 Os 同位素组成取值相对标准曲线还有不同程度的偏低现象, 是否为另一曲线特征还有待进一步验证。

3.5 对曲线精细特征识别的意义和原因初探

综上所述, 6 个样品中仅有马绍尔海山区的 MHD79 和莱恩海山区的 MP3D22 年代比较古老, 始生长年代可追溯至 80 Ma 左右, 所以只有这两个样品有可能记录“早期异常”特征, 而这两个样品的曲线也确都表现出了这一特征, 说明这个特征可能是太平洋结壳 Os 同位素曲线的共性特征。“小停顿”特征的存在也非常普遍, 除了年代较轻(没有达到 E/O 界)的马尔库斯威克海山样品 CLD34-2 和曲线点位较少的 CLD50 以外, 4 个样品均有表现, 表现形态

也较为相似。“挠曲”形态出现的时代实际上也经常伴随着一个普遍存在的间断期, 如 MHD79 和 CLD50。本文的结果显示, 在这个时期没有发生间断的样品大多展现出了“挠曲错后”的特征, 如麦哲伦海山区的 MS1 和莱恩海山区的 MP3D10。CLD34-2 和另一个莱恩海山区的样品 MP3D22 则由于该区间内点位较少而没有体现出明显特征。至此, 可以推断, 本研究发现的 4 种记录在结壳 Os 同位素曲线中的形态特征可能是中、西太平洋海水的 Os 同位素曲线演化的共性特征。

识别出新的曲线特征对于 Co-Os 法定年体系具有的重要应用意义。在此之前, 研究者只能通过标准曲线的 K/T 界线低值、E/O 界线低值和中新世“挠曲”3 个特征作为年代控制点进行比对。如今, K/T 界线之前的“早期异常(波动)”、E/O 界线之后上升过程中的“小停顿”、E/O 界线之后上升过程末尾的“异常偏高点”和中新世“‘挠曲’错后”至 10 Ma 左右的这 4 个新特征的提出丰富了标准曲线的细微形态, 可作为年代控制点, 使得年代框架的厘定可以更准确可靠。

对于新的曲线特征的解释目前还缺乏证据, 不过基于 Os 同位素分馏理论, 比值的波动多与壳、幔源物质的供应关系有关。壳源物质供应的增加或幔源物质供应的减少都可能导致曲线升高, 反之亦然。与 Klemm 的标准曲线在 75 Ma 以前的持平趋势不同, 本研究样品曲线展现的“早期异常波动”实际上是在 70 Ma 以前的波动形态, 在 80 Ma~70 Ma 之间持续下降, 在 70 Ma 附近突然上升出现反复, 而后又进入 K/T 界线之前的急速下降区间。这表明, 在晚白垩世壳源物质供应量急剧下降或幔源供应量急剧上升, 而在 70 Ma 时出现了 1 次壳源物质输入事件或者幔源物质输入减少或暂停期, 造成了这种波动。同理, 出现在 E/O 界线后上升区间内的“小停顿”可能意味着在壳源物质供给逐渐增加的过程中出现了一次幔源事件或相反。对于 E/O 界线后的“异常高值点”和中新世“挠曲错后”的形态, 则是随着数据的积累而对标准曲线的细化和校正。

4 结论

本研究综合对比中、西太平洋六块多金属结壳的 Os 同位素组成曲线, 总结出了 4 种记录在结壳中的海水 Os 同位素曲线特征规律, 可作为年代控制点,

使得结壳年代框架的厘定可以更准确可靠。

这 4 种新特征形态包括: K/T 界线之前的“早期异常(波动)”; E/O 界线之后上升过程中的“小停顿”; E/O 界线之后上升过程末尾的“异常偏高点”; 中新世“‘挠曲’错后”至 10 Ma 左右。前两个形态的出现多与地质历史时期海洋中壳、幔源物质的供应关系变化有关, 后两个形态则是随着数据的积累而对标准曲线的细化和校正。

致谢: 中国大洋协会和广州海洋地质调查局为本研究提供项目和样品支持。同时对国家地质测试中心杜安道、屈文俊、李超研究员和其他测试人员对本研究提供高水平测试数据表示感谢! 感谢丁旋、李江山、张振国、高莲凤、吴长航、张艳、张志超、周涛和黄和浪对本研究和前期研究的贡献。感谢审稿人的建设性意见和建议!

参考文献:

- [1] Sharma M, Papanastassiou D A, Wasserburg G J. The concentration and isotope composition of osmium in the oceans[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1997, 61(16): 3287-3299.
- [2] Levasseur S, Birk J L, Allegre C J. Direct measurement of femtomoles of osmium and the $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ ratio in sea water[J]. *Science*, 1998, 28: 2272-2274.
- [3] Allègre C J, Luck J M. Osmium isotopes as petrogenetic and geological tracers[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1980, 48(1): 148-154.
- [4] Walker R J, Morgan J W. Rhenium-osmium isotope systematics of carbonaceous chondrites[J]. *Science*, 1989, 243(4890): 519-522.
- [5] Meisel T, Walker R J, Morgan J W. The osmium isotopic composition of the Earth's primitive upper mantle[J]. *Nature*, 1996, 383(6600): 517-520.
- [6] Pegram W J, Krishnaswami S, Ravizza G, et al. The record of sea water $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ variation through the Cenozoic[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1992, 113: 569-576.
- [7] Ravizza G. Variations of the $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ ratio of sea water over the past 28 million years as inferred from metalliferous carbonates[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1993, 118: 335-348.
- [8] Ehrenbrink B P, Ravizza G, Hofmann A W. The marine $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ record of the past 80 million years[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1995, 130: 155-167.
- [9] Klemm V, Levasseur S, Frank M. Osmium isotope stratigraphy of a marine ferromanganese crust[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2005, 238: 42-48.
- [10] Ravizza G, Ehrenbrink B P. The marine $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ record of the Eocene-Oligocene transition: the interplay of weathering and glaciation[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2003, 210: 151-165.
- [11] Klemm V, Frank M, Levasseur S, et al. Sea water osmium isotope evidence for a middle Miocene flood basalt event in ferromanganese crust records[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2008, 273: 175-183.
- [12] 符亚洲, 彭建堂, 屈文俊, 等. 中太平洋富钴结壳剖面的钌同位素组成[J]. *科学通报*, 2005, 50(15): 1654-1659.
Fu Yazhou, Peng Jiantang, Qu Wenjun, et al. Osmium isotopic composition of cobalt rich crusts in the Central Pacific[J]. *Chinese Sci Bull*, 2005, 50(15): 1654-1659.
- [13] 孙晓明, 薛婷, 何高文, 等. 太平洋海山富钴结壳铂族元素(PGE)和 Os 同位素地球化学及其成因意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(12): 3014-3026.
Sun Xiaoming, Xue Ting, He Gaowen, et al. Platinum group element (PGE) and Os isotopic geochemistry of ferromanganese crusts from Pacific Ocean seamounts and their constants on genesis[J]. *Acta Petrol Sin*, 2006, 22(12): 3014-3026.
- [14] 李江山, 方念乔, 屈文俊, 等. 中太平洋富钴结壳的 Os 同位素定年与结壳生长间断[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2008, 38(9): 1122-1129.
Li Jiangshan, Fang Nianqiao, Qu Wenjun, et al. Os isotope dating and growth hiatuses of Co-rich crust from Central Pacific[J]. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 2008, 38(9): 1122-1129.
- [15] 丁旋, 高莲凤, 方念乔, 等. 太平洋海山富钴结壳生长过程与新生代海洋演化关系[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2008, 38(10): 1297-1308.
Ding Xuan, Gao Lianfeng, Fang Nianqiao, et al. The relationship between the growth process of the ferromanganese crusts in the Pacific Seamount and Cenozoic ocean evolution[J]. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 2008, 38(10): 1297-1308.
- [16] 孟宪伟, 刘焱光, 屈文俊, 等. 中太平洋 Allison 海山富 Co 结壳 Os 同位素组成及其生长间断与生长年代的确定[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2008, 38(9): 1130-1135.
Meng Xianwen, Liu Yanguang, Qu Wenjun, et al. Osmium isotope of the Co-rich crust from Seamount Allison, Central Pacific and its use for determination of growth hiatus and growth age[J]. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 2008, 38(9): 1130-1135.
- [17] Du A D, Wu S, Sun D, et al. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC[J]. *Geostand Geoanal Res*, 2004, 28(1): 41-52.
- [18] Manheim F T, Bostwick C M L. Cobalt in ferromanganese crusts as a monitor of hydrothermal discharge on the Pacific sea floor[J]. *Nature*, 1988, 335: 59-62.
- [19] McMurtry G M, Vonderhaar D L, Eisenhauer A, et al. Cenozoic accumulation of a Pacific ferromanganese crust[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1994, 125: 105-118.

Precise characteristics of Os isotopic composition of seawater since 80 Ma: recorded in polymetallic crusts from CW Pacific

WANG Yang, FANG Nian-qiao

(School of Ocean Science, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Received: Feb. 3, 2020

Key words: crust; Os isotope; standard curve; central and western Pacific

Abstract: Since 80 Ma, the sea water Os isotopic standard curve has three characteristics: the low value at K/T (Cretaceous/Tertiary), the low value at E/O (Eocene/Oligocene) and the “kink” during Miocene, which can be explained as the change of material supply relationship between continent and mantle caused by the meteorite strike event or ultrabasic rock weathering event. By comparing the Os isotopic standard curve of sea water with that of polymetallic crusts, the age frame of it can be determined according to the value and shape fit. Because of the limitation of sampling accuracy and the wide existence of growth discontinuities, there is uncertainty in the comparison only based on these three features. In this study, the Os isotopic composition curves of six polymetallic crusts from the central western Pacific are compared, and four new characteristics of the sea water Os isotopic curves recorded in the crusts are summarized: (1) the “early anomaly (fluctuation)” before the K/T Boundary; (2) the “small pause” in the rising process after the E/O boundary; (3) the “abnormal higher point” at the end of the rising process after the E/O boundary and (4) the “kink malposition” at the end of the rising process after the E/O boundary to about 10 Ma. These new features can be used as age anchor points, making the determination of the age frame of polymetallic crusts more accurate, reliable and easy to operate. These four characteristics can be interpreted as the change of the supply relationship of continental and mantle derived materials in the geological history in the ocean or can be treated as the refinement and correction of the standard curve with the accumulation of data.

(本文编辑: 谭雪静)