



新闻动态

您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 学术前沿

- 图片新闻
- 头条新闻
- 通知公告
- 学术活动
- 综合新闻
- 科研动态
- 研究亮点
- 学术前沿

【前沿报道】Science: 地球早期海洋温度并非想象中那么高

2019-09-25 | 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

占据地球表面积70%以上的海洋,是生命起源、繁衍与生息之地,同时也是决定地表温度,即气候的最重要因素。它的冷热状态,即温度变化影响着地表环境及表生地球化学作用,也影响着地球的生命演化。一般来讲,现代海洋的水温变化在-2℃到30℃之间,平均约为20℃。而对于古海洋,特别是寒武纪之前(>5.4 Ga)的地球早期海洋,它的温度却一直存在争议,估计从10℃到85℃不等,这在一定程度上影响了对早期生命孕育条件的认识。

地质时期海相燧石的硅与氧同位素、蚀变洋壳的氧同位素记录,以及遗传蛋白质重建等众多证据表明地球早期海洋的温度会较高,可达85℃。但是,这些证据均存在各自的不确定性。例如,燧石自沉积之后会经受后期成岩和变质作用的改造,影响其硅和氧同位素组成的保存。此外,前寒武纪海洋富铁,铁质的沉淀可能也会造成燧石中硅同位素的变化(Zheng et al., 2016)。尽管如此,较多学者目前仍倾向认为早期海洋的温度远高于现在,因为沉积的各种矿物和岩石(碳酸盐岩、燧石和海绿石等)的氧同位素组成(即 $\delta^{18}\text{O}$ 值)一致显示出自太古代以来持续增加的变化趋势(图1)。然而,对于这种全球普遍趋势还存在另一种解释,即海洋沉积物的 $\delta^{18}\text{O}$ 值长期升高可能与海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值的增加有关,而并非与海水温度有关。让人疑惑的是,由于这些沉积岩和矿物的矿物-水氧同位素分馏机制很相似,都与温度相关,因而无法区分何种解释更为准确。

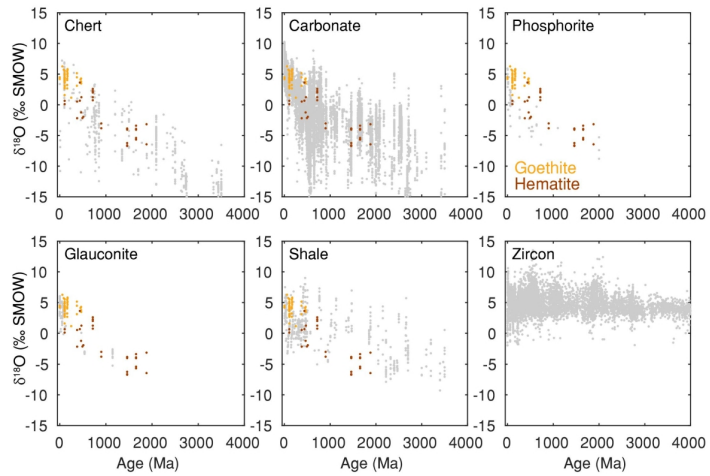


图1 不同沉积岩和矿物的氧同位素随时间的变化趋势,自左至右分别为燧石、碳酸盐岩、磷块岩、海绿石、页岩和锆石(见Galili et al., 2019补充材料)

在此背景下,以色列雷霍沃特魏茨曼科学研究所Nir Galili博士和其合作者最近在*Science*上撰文认为,氧同位素变化的这种趋势应与海水的氧同位素变化有关,而与海洋温度无关;进而推测,地球早期海洋温度并非像传统认为的会那么高。他们创新性地使用了铁氧化物的氧同位素地质记录来破解这一科学难题,铁氧化物的氧同位素对温度变化不敏感,因此铁氧化物的同位素变化的原因可能为破解各类沉积物和矿物的变化趋势提供正确的解释。尽管前人的研究已经表明温度对铁氧化物和水之间的氧同位素分馏影响是较弱的,沉积后的作用也影响甚微,作者仍开展合成实验,以期证实真实性。他们采用不同的pH值和温度来合成针铁矿和赤铁矿,发现其氧同位素分馏与温度的相关性确实较弱,每20℃仅有~1%的变化(图2)。

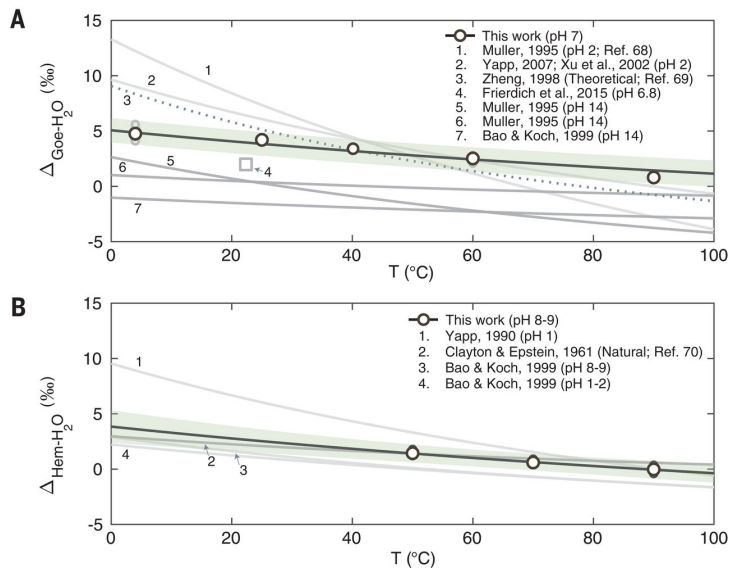


图2 铁氧化物-水的氧同位素分馏与温度的关系。A. 针铁矿-水；B. 赤铁矿-水 (Galili et al., 2019)

考虑到后期成岩作用会产生二价铁离子和含二价铁的矿物，作者对样品进行了严格筛选，排除了再结晶或蚀变形成的氧化铁，也排除了含有有机质含量较高(1%)和含较多二价铁矿物的样品，进而对过去近20亿年的海相鲕粒状铁矿石中铁氧化物的氧同位素特征进行了分析，发现氧同位素同样具有与燧石和碳酸盐岩相似的时间变化趋势，即在前寒武纪逐步上升，进入到显生宙趋于稳定(图3)。由于铁氧化物的氧同位素分馏与温度相关性较弱，因而其变化趋势应该反映的是相对流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化而非海洋温度变化。无论该流体是否为海水，或是早期成岩孔隙水和近海岸的大气降水，其趋势应可代表整个水圈的 $\delta^{18}\text{O}$ 演化。

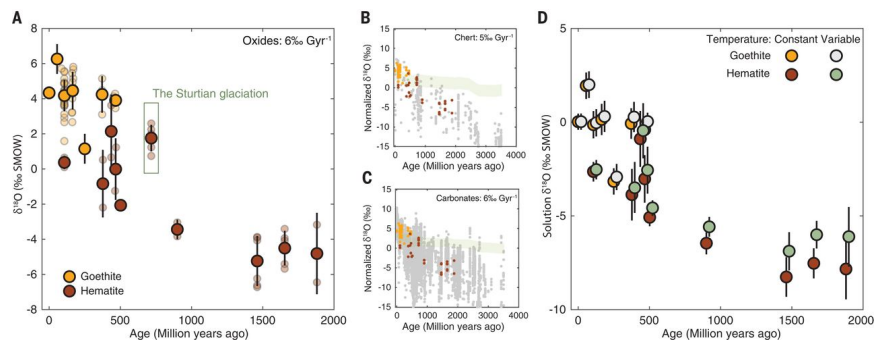


图3 铁氧化物的 $\delta^{18}\text{O}$ 值特征。A. 针铁矿(橙色圆圈)和赤铁矿(红色圆圈)所代表年代的平均 $\delta^{18}\text{O}$ 值($\pm 1\sigma$)；B、C. 将铁氧化物的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录分别叠加在燧石和碳酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录上；D. 铁氧化物相对流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值，是在(i)恒温($15\pm 10^\circ\text{C}$)或(ii)温度随时间降低的假设条件下计算获得(Galili et al., 2019)

在两种假定前提下(地表平均温度($15\pm 10^\circ\text{C}$)不变,自古代的 85°C 开始下降),作者进一步计算了与铁氧化物相对流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 值,发现流体 $\delta^{18}\text{O}$ 值在两种情况下均显示出相似的趋势,即前寒武纪增加和显生宙不变(图3),说明与铁氧化物对应的母液氧同位素值的确发生了变化。另外,两种条件下得到的 $\delta^{18}\text{O}$ 值差别与样品年龄呈正相关,但差距不会超过 $\sim 2\%$,进一步反映铁氧化物-水的氧同位素分馏相对于温度是不灵敏的。此外,作者还发现与赤铁矿共生的碳酸盐矿物同样呈现出与赤铁矿相似的氧同位素变化趋势,表明该趋势与赤铁矿的不同沉淀机制无关。这点结论非常重要,因为关于前寒武纪的赤铁矿的原始成因一直存在争议,当前已形成两种对立的观点:

(1)赤铁矿是原始沉淀的铁硅酸盐颗粒在后期发生氧化所致(Rasmussen et al., 2013),该观点强调硅酸盐矿物为原始沉积产物而非赤铁矿,直接挑战了传统思想;(2)认为三价铁的氢氧化物应为原始沉积产物,赤铁矿是其直接脱水的产物(Konhauser et al., 2017)。最近,Robbins et al. (2019)在*Nature Geoscience*上发表文章,应用水文地质模型反驳了原始硅酸盐沉淀的观点,但他们并未对前人所看到的岩相学现象进行解释,而是仅仅利用模型否定了赤铁矿为硅酸盐氧化所致,并强调原始硅酸盐矿物的形成与经典的稀土元素以及铁同位素特征不相符。

最后作者分析了导致海水 $\delta^{18}\text{O}$ 升高的原因,可能是由于陆相沉积物盖层的增加、高低温地壳蚀变比例的变化,或者是这些和其他因素综合的结果。针对全球氧同位素变化趋势,不难发现,整个前寒武纪的海水氧同位素值均较低,如果该趋势确实与温度无关,那么我们有理由相信,地球在过去整个35亿年期间气候应该是温和且稳定的。

主要参考文献

Galili N, Shemesh A, Yam R, et al. The geologic history of seawater oxygen isotopes from marine iron oxides [J]. *Science*, 2019, 365: 469-473. (链接)

Konhauser K O, Planavsky N J, Hardisty D S, et al. Iron formations: A global record of Neoproterozoic to Palaeoproterozoic environmental history[J]. *Earth-Science Reviews*, 2017, 172: 140-177. (链接)

Rasmussen B, Muhling J R, Fischer W W. Evidence from laminated chert in banded iron formations for deposition by gravitational settling of iron-silicate muds[J]. *Geology*, 2019, 47(2): 167-170. (链接)

Robbins L J, Funk S P, Flynn S L, et al. Hydrogeological constraints on the formation of Palaeoproterozoic banded iron formations[J]. *Nature Geoscience*, 2019, 12: 558-563. (链接)

Zheng X Y, Beard B L, Reddy T R, et al. Abiologic silicon isotope fractionation between aqueous Si and Fe (III) - Si gel in simulated Archean seawater: Implications for Si isotope records in Precambrian sedimentary rocks[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2016, 187: 102-122. (链接)

(撰稿: 储雪蕾、王长乐/矿产室)

附件

1. Science: 出自海相铁氧化物的海水氧同位素地质历史 (译文).pdf



地址: 北京市朝阳区北土城西路19号 邮编:100029 电话: 010-82998001 传真: 010-62010846
版权所有© 2009-2019 中国科学院地质与地球物理研究所 京ICP备05029136号 京公网安备110402500032号

