



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

NC: 地幔数据显示可氧化的火山气体的减少可能触发了大氧化事件

2020-08-17 | 【大】 【中】 【小】 【打印】 【关闭】

包括人类在内的需氧生物之所以能在地球上繁盛兴旺, 主要得益于大气中大量 O_2 的存在, 但在地球整个历史的大部分时间内 O_2 含量水平并不高。地质记录中的硫同位素非质量分馏特征表明大气中的 O_2 含量在2.4~2.1 Ga大氧化事件期间快速升高, 但对氧化还原作用敏感的铁、钼等元素的同位素数据却显示在3.2~3.0 Ga时海洋透光层中就已经存在 O_2 , 这意味着能够产生 O_2 的蓝藻的出现时间远早于大氧化事件。地质学上的数据也指出在新太古代海洋和湖泊中存在甲烷营养(厌氧菌以甲烷为营养物质, 并将其氧化为 CO_2)和氧化氮的循环, 以及硫化物和氨基盐分别被氧化成为硫酸盐和硝酸盐过程。这与光合作用开始于中太古代的推论是吻合的。目前, 人们对早期大气中氧气积累的具体过程以及为何大气氧化事件滞后于光合作用开始时间仍知之甚少。

早些时候, Kump and Barley (2007) 曾认为从太古代到古元古代火山活动类型由海底喷发转换为陆上喷发, 此过程中还原性气体排放逐渐减少, 可能对大气增氧也有一定贡献。近年Aulbach and Stagno (2016), Nicklas et al. (2019) 研究发现地幔从太古代以来变得逐渐氧化, 进而推测地幔的氧化有可能导致了大气的氧化。但这种推测尚未得到定量验证。为了定量检验地幔的氧化能否导致大气的氧化, Kadoya et al. (2020) 在对前人数据再挖掘的基础上发现太古代还原性火山气体的喷发可以阻止大气中 O_2 的积累, 并且这种状况一直持续到大约2.5 Ga, 这一认识对人们普遍认为的地幔的氧化并不是大气中 O_2 演化和有氧生命演化的关键驱动力的观点提出了质疑, 并认为需重新考虑地球和其他类地系外行星演化过程中地幔氧化对大气演化的影响。

Aulbach and Stagno (2016) 和 Nicklas et al. (2019) 曾用不同的方法分别揭示出地幔的 f_{O_2} 从早太古代到元古代上升了约1.3个对数单位, 虽然两种方法得出的 f_{O_2} 的变化趋势相同, 但不同时代氧逸度的具体数值(用 ΔFMQ 表示)不尽相同(图1a)。Kadoya等以上述两套数据为基础, 通过设定统一的现代MORB的 f_{O_2} 值($\Delta FMQ=0.2\pm 0.3$), 重新计算了地幔的 f_{O_2} 演化趋势线, 发现两套数据在各自的误差范围内获得的地幔 f_{O_2} 演化趋势线可以很好地重合(图1b)。

在研究中, Kadoya等构建了氧化参数 K_{Oxy} , 用来衡量某一时刻大气是否倾向于氧化的程度。它的定义是氧源通量与氧汇通量的比值, 其中的氧汇通量主要受火山喷发的还原性气体控制(如 H_2 、 CO 、 H_2S 、 SO_2 和 CH_4 等)。当 $K_{Oxy}<1$ 时, 导致氧汇的火山气体量超过氧源量, 大气中 H_2 增加。当 $K_{Oxy}>1$ 时, 氧源超过有效氧汇, 大气中的 O_2 增加, 直到消耗氧气的风化作用发生并使其达到平衡。

研究结果发现, 在2.62 Ga及之后, $K_{Oxy}>1$, 即大气具有氧化性的可能性超过95%, 而在3.38 Ga之前, $K_{Oxy}>1$ 的可能性小于50%, 3.6 Ga之前 $K_{Oxy}>1$ 的可能性就更小了, 只有30%。这就表明尽管存在光合作用, 早太古代的大气很可能是还原性的。因此, 地幔不断升高的 f_{O_2} 有可能使得大气从还原性转变为氧化性, 转变期大约是2.5 Ga之前(图2)。

作者认为造成地幔的 f_{O_2} 从太古代以来逐渐增加, 并进而触发大氧化事件的原因有两个, 一个是地幔对流所导致的氧化还原状态分层的原始地幔的均一化过程。早期原始地幔的氧化还原状态是分层的, 即下地幔中 Fe^{2+} 在高压下发生歧化反应形成 Fe^{3+} 和单质Fe, 单质Fe进入地核, 残留的 Fe^{3+} 使得下地幔比上地幔更加氧化。在对流作用驱动下, 上述分层的氧化还原状态变得均一化, 并使地幔的 f_{O_2} 升高。另外一个原因是大气中诸如 H_2 之类的强还原剂的大量逃逸进入太空, 从而使大气逐渐变得氧化。

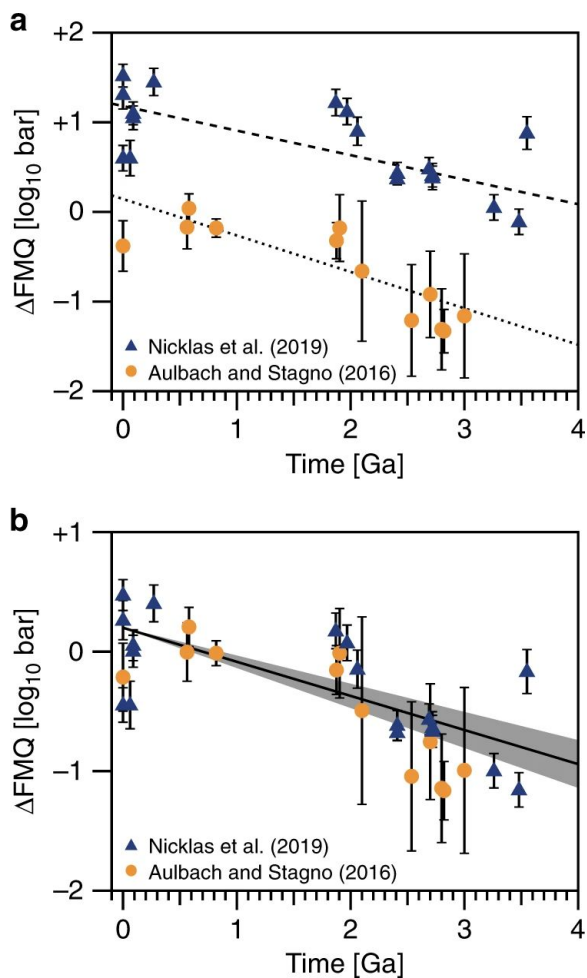


图1 (a) Aulbach and Stagno (2016)和Nicklas et al. (2019)用不同的方法分别揭示出地幔的氧逸度 (f_{O_2}) 演化趋势。氧逸度值用相对铁橄榄石-磁铁矿-石英缓冲线 (ΔFMQ) 来表示。图中的虚线分别表示两套数据的线性回归, 可以看出它们的趋势大致相同, 均反映了地幔自太古代以来氧逸度不断升高; (b) Kadoya et al. (2020) 对上述两套数据重新处理后的地幔的氧逸度演化趋势, 处理的方法是将两套数据中现代MORB的 f_{O_2} 值均采用 $\Delta\text{FMQ}=0.2 \pm 0.3$

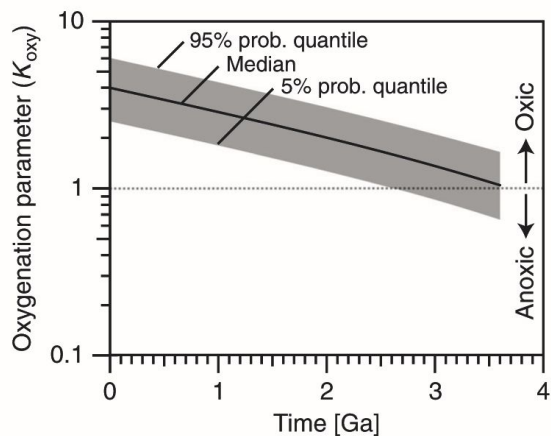


图2氧化参数 K_{oxy} 随时间变化趋势图。图中实线为中值, 阴影区域为概率分位数5%–95%限定区域。虚线代表了 $K_{\text{oxy}}=1$, 虚线之上表示大气为氧化, 之下为缺氧。虚线与概率分位数5%相交处对应的年龄为2.62 Ga, 意味着在2.62 Ga及之后, $K_{\text{oxy}} > 1$, 即大气具有氧化性的可能性超过95% (Kadoya et al., 2020)

【致谢: 感谢矿产室张连昌研究员对本文提出的修改建议。】

主要参考文献

Aulbach S, Stagno V. Evidence for a reducing Archean ambient mantle and its effects on the carbon cycle[J]. *Geology*, 2016, 44(9): 751-754. (链接)

Kadoya S, Catling D C, Nicklas R W, et al. Mantle data imply a decline of oxidizable volcanic gases could have triggered the Great Oxidation[J]. *Nature*

Communications, 2020, 11(1): 1-9. (链接)

Kump L R, Barley M E. Increased subaerial volcanism and the rise of atmospheric oxygen 2.5 billion years ago[J]. *Nature*, 2007, 448(7157): 1033-1036. (链接)

Nicklas R W, Puchtel I S, Ash R D, et al. Secular mantle oxidation across the Archean-Proterozoic boundary: Evidence from V partitioning in komatiites and picrites[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2019, 250: 49-75. (链接)

(撰稿: 英基丰/岩石圈室)



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© 2009-2021 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

