南京古生物所等提出新模型解释地球早期缺氧海洋如何被氧化

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/6703.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

南京古生物所等提出新模型解释地球早期缺氧海洋如何被氧化。已有研究表明，早期地球是极端缺氧的。为什么地球早期大气和海洋的氧气含量长期保持在低水平，在5.8—5.2亿年前后却发生了快速增加呢?9月2日，中英两国科学家在《自然-地球科学》(Nature Geoscience)发表论文，认为大规模造山运动将大量蒸发岩输入海洋，蒸发岩作为大洋的氧化剂，使得寒武纪大爆发之前普遍缺氧的深部大洋得以氧化，从而导致大气和海洋中氧气含量快速增加，为地球大型复杂多细胞生命的快速演化奠定了基本条件。

不久前的5月6日，由中国科学院南京地质古生物研究所研究员朱茂炎和英国伦敦大学学院教授Graham Shields领衔的中英国际合作团队在《自然-地球科学》上发表论文，证明动物在大约5.2亿年前后阶段性的快速辐射演化(寒武纪大爆发)受到大气和海洋中氧气含量的控制。但是，这一研究并没有回答大气和海洋中氧气含量的变化又受到什么控制的问题。

地球历史上曾发生过2次大气快速增氧事件，大气中的氧气才基本达到现代水平。第一次大氧化事件发生在距今大约24亿年前后，大气中的氧气达到了现代大气氧含量的1%水平，导致真核生物在地球上首次出现。但随后长达十几亿年的时间内大气氧含量并没有增加，甚至还低于第一次大氧化事件时期的水平，从而阻碍了多细胞真核生物的演化。直到距今5.8—5.2亿年前后，地球发生第二次大氧化事件，大气中的氧含量增加到现代大气氧含量的60%以上的水平，大洋也全部氧化，导致多细胞真核生物大辐射，以及动物的快速起源和寒武纪大爆发。

对于前寒武纪海洋中的氧含量为什么长期很低的问题，目前学界有一个理论模型，即“有机碳库模型”。该模型认为前寒武纪海洋表层透光带内进行光合作用的微生物主要是原核生物，这些微生物死亡后的有机质易于氧化降解，在海水中不断积累，大量消耗海水中氧气，从而导致了海水的缺氧。也就是说前寒武纪海洋中存在一个巨大有机碳库，阻止了海洋和大气中氧含量的增加。前寒武纪这种缺氧的海洋就像一个现代的巨大沼泽池，水体中大量腐殖有机质不断消耗着氧气，因而水体浑浊并缺氧。只有当这个浑浊并缺氧海洋得到氧化，大气和海洋的氧气含量才能够增加。

但是，浑浊缺氧的前寒武纪海洋是如何变得清澈富含氧气的呢?目前流行的假说是“生物与环境协同演化模型”。这个模型认为当海水中氧气含量达到原始动物生存的最低需求时，如海绵动物一旦出现，就通过捕食海水悬浮有机质，加速了海水有机质的消耗和埋藏，减少了海水中氧气的消耗，最终导致了海洋和大气中氧气的增加。随着氧气含量的增加，微型浮游动物和复杂动物的出现形成复杂的食物网，大量消耗海水中有机质，并通过动物大颗粒排泄物和尸体的形式进入沉

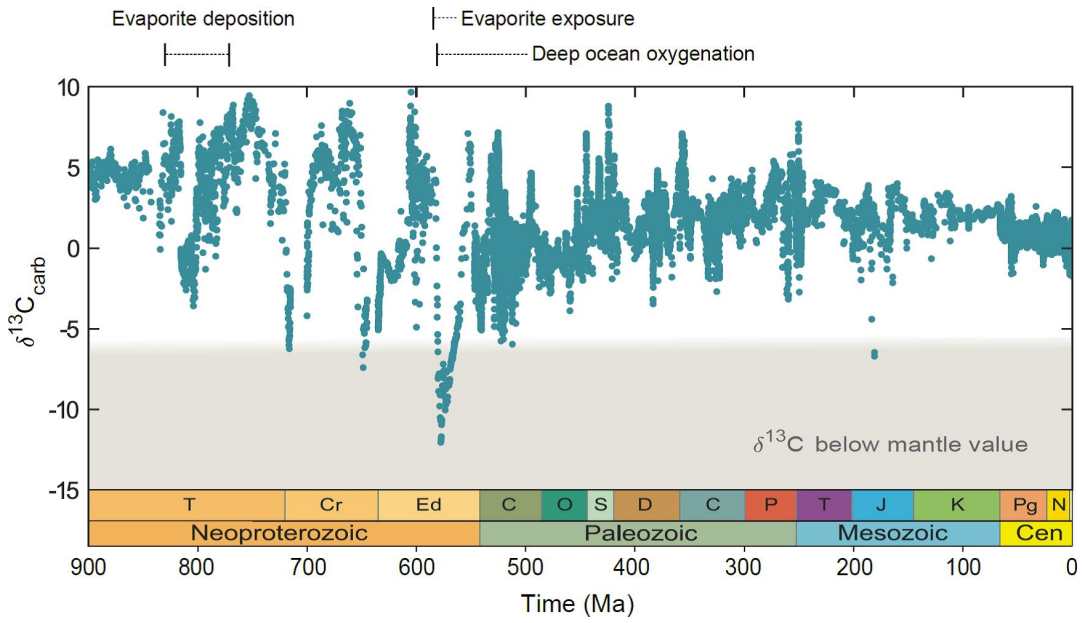
积物，大大提高了有机物埋藏的效率，形成了动物演化与氧气增加的正反馈机制。这种正反馈机制最终将表现为氧气增加的线性加速，而这与5.8—5.2亿年前后大气和海洋氧气含量多次大规模波动，生物发生阶段性辐射演化的实际情况却是不一致的。

本次研究中，朱茂炎等中英合作团队通过分析9亿年以来全球海水碳酸盐的碳同位素(δ13C)演变过程发现，前寒武纪海洋中的有机碳库在5.7亿年之后明显减少，表明这个时期深部海洋已经开始氧化。直接的证据是，在9-5.4亿年间的前寒武纪晚期，海水中的碳同位素(δ13C)值出现多次巨大的负异常变化，这种现象在寒武纪大爆发之后彻底消失(图1)。其中，发生在5.7亿年前的一次碳同位素(δ13C)负异常事件是地球历史上规模最大的一次。

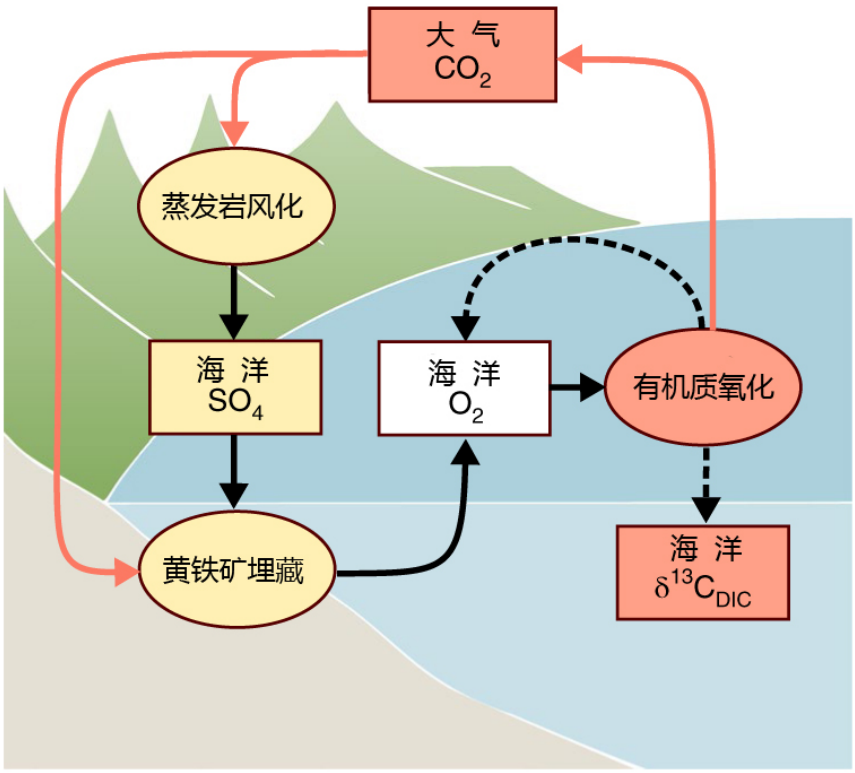
该研究团队提出了一个新的地球系统模型解释了这一现象。他们认为，5.7亿年前后地球上的主要大陆通过拼合形成了一个冈瓦纳超大陆和位于超大陆内部的超级中央造山带，将8亿年前后大量沉积的蒸发岩矿物风化剥蚀输入海洋。富含硫酸盐的蒸发岩是一种氧化剂，可以通过硫酸盐还原菌对海水中的有机质进行氧化，形成黄铁矿埋藏在沉积物中，导致当时海洋中有机碳库快速减少。同时，海洋中有机碳的快速氧化，向大气排放大量CO2，进一步导致大气升温，加强了陆地风化作用和蒸发岩向海洋的输入量，海洋中有机碳库进一步被氧化，形成一个海洋氧化的正反馈作用机制，使得大气和海洋中的氧气快速增加。有机质氧化后向海水释放碳同位素偏轻的无机碳，结果海水中的碳同位素(δ13C)值变得越来越轻(图2)。该模型得到冈瓦纳大陆形成之前的大量蒸发岩沉积记录的支持。通过数学模型计算，海洋有机碳库氧化需要的蒸发岩向海洋的输入通量与新生代青藏高原隆起后蒸发岩输入海洋的通量相当，支持了新模型的合理性。

这个新的模型与该时期生物的阶段辐射演化模型更加契合。跟传统的生物与环境协同演化模型不同，新模型强调了地球内部过程引起的岩石圈的运动是地球表层系统发生革命性改变的原始驱动力。新模型不仅验证了前寒武纪海洋中巨大有机碳库存在的假说，还为海洋中巨大有机碳库的变化控制着前寒武纪末期地球多次大规模冰期发生的假说提供了支撑。因为海洋中巨大有机碳库如果不被氧化，大气中的CO2就会不断降低，气候就会变得越来越冷。而构造驱动的海洋有机碳库的氧化，向大气中排放大量CO2，气候就变得越来越暖。正是由于海洋的氧化，海洋中有机碳库变小，它作为气候的调节器作用也就减弱，寒武纪之后的地球再也没有发生过类似前寒武纪的“雪球地球”那样的极端冰期气候事件。

该研究得到国家自然基金(NSFC)与英国环境研究理事会(NERC)共同资助的中英国际合作重点项目(41661134048)和中科院战略先导专项(B)项目(XDB18000000，XDB26000000)的资助。



距今9亿年来海水碳同位素(δ13C)记录



蒸发岩风化与海洋有机碳库氧化的正反馈模型图

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发