海洋所研究发现全球陆地火山作用控制海水镍元素丰度的演化历史

2021-08-18 来源：深海中心 | 【大 中 小】 | 【打印】【关闭】

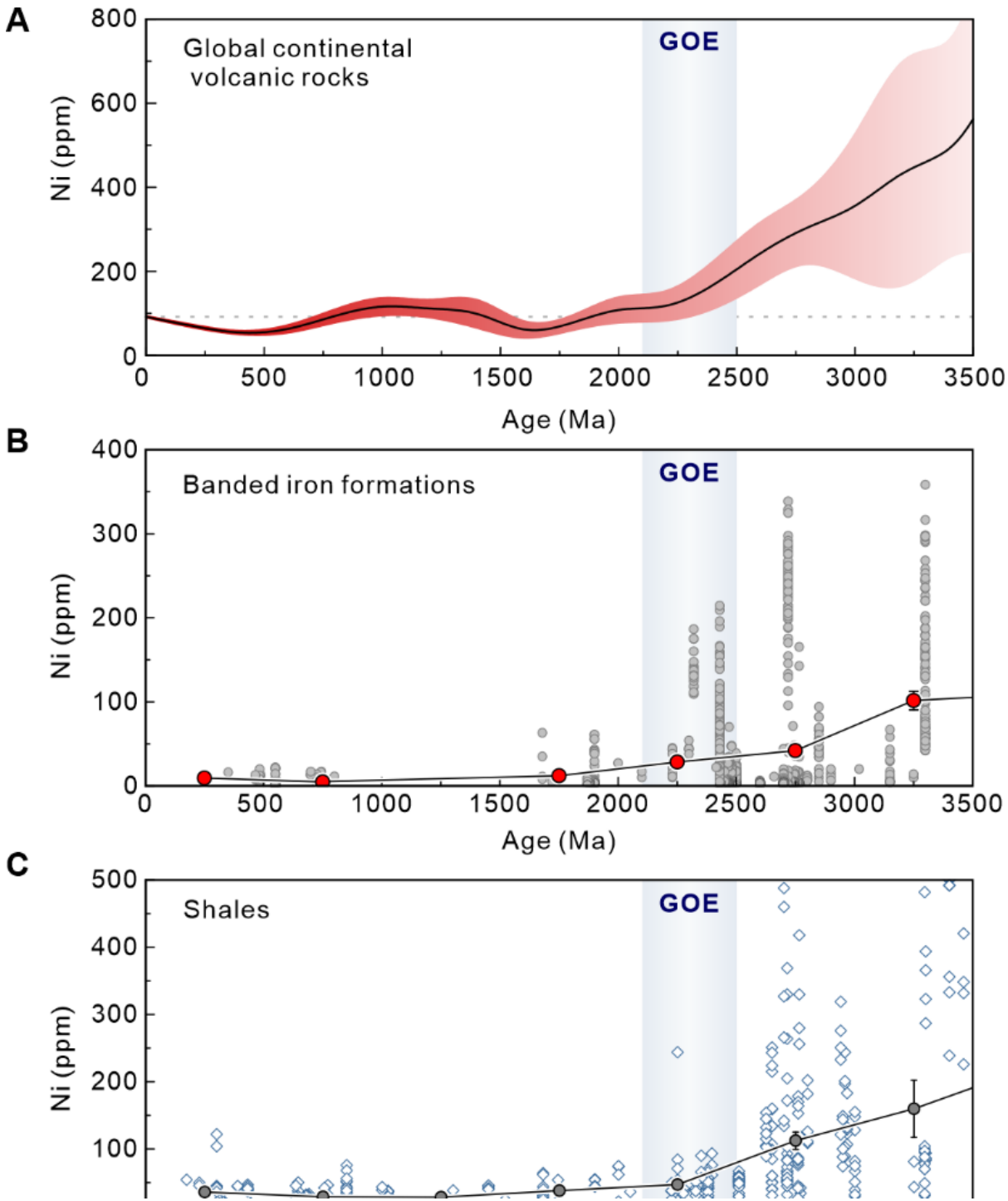
近日，中国科学院海洋研究所孙卫东课题组刘鹤研究员联合加拿大阿尔伯塔大学Kurt Konhauser教授以大数据分析方法对全球大陆火山岩的平均镍（Ni）含量变化开展研究，指出陆地火山作用是控制地质历史时期海水Ni丰度演化和大气中甲烷含量变化的直接因素，相关成果发表于国际学术期刊Earth and Planetary Science Letters。

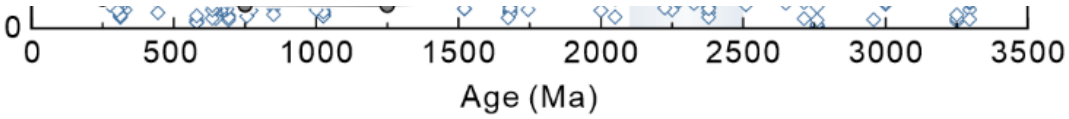
地球演化早期，大气中几乎不存在氧气，但是却充斥着大量的甲烷气体。大气中的甲烷在太古宙末期（~25亿年前）发生急剧减少，业内称之为“甲烷崩溃事件（Methane Collapse）”，随之而来的是大氧化事件（Great Oxidation Event）的发生（~25-21亿年前）和大气中氧气含量的永久性升高。过去曾有许多学者认为大气中甲烷含量的减少是氧气含量升高的结果。但是，加拿大阿尔伯

塔大学Konhauser等人提出另外一种解释：因为海洋中的产甲烷古菌需要Ni元素来合成生产甲烷所必须的甲基辅酶M还原酶（MCR），Konhauser等研究发现新太古代-古元古代时期形成的条带状铁建造（BIF）中的Ni/Fe比值出现了快速降低现象，这代表海水中溶解性Ni元素含量减少，因此他们认为海水中Ni元素丰度的下降导致了甲烷生成量的大幅度下降，并成为大气中氧气含量升高的前提条件。这一颠覆性观点2009年在Nature发表后立刻引起很多国际同行关注，但也不乏质疑和反对。其中部分学者指出，太古代极度缺氧的海洋比元古代的海洋中含有更多的绿锈（Green rust, 一种同时具有Fe^{2+}和Fe^{3+}的氢氧化物，可参与BIF的形成），这种绿锈对海水中的Ni元素有更强的吸附能力，所以BIF中观察到的Ni/Fe比值的变化或许不能反映海水中Ni元素的变化。由此便产生了一个重要的疑问：太古代的海水是否真的具有更高的Ni含量?

为了给出这个问题的答案，刘鹤等从海洋Ni元素的源头——陆地火山岩的Ni含量变化展开研究。海水中的溶解性Ni元素的来源主要是陆地火山岩中Ni的输入，但是地质历史时期全球陆地火山岩的平均Ni元素含量随时间的变化情况尚未得知。在本研究中，科研人员收集了全球35亿年以来形成的96000余件陆地火山岩样品和2037件BIF样品的地球化学数据，并采用了一种网格化重采样方法对数据进行统计分析，获得了不同类型火山岩的Ni元素平均含量随时间的变化规律，并与BIF和页岩两种海相沉积岩的数据进行了对比。

计算结果显示，全球陆地火山岩的总平均Ni含量从35亿年前的~600 ppm直线下降到20亿年前的~100 ppm，而从20亿年前至今则大致保持不变。在与沉积岩的数据对比后发现，陆地火山岩的平均Ni含量变化规律与BIF和页岩中Ni元素的变化呈现出高度相似性，这表明海洋中溶解性的Ni和微粒状的Ni均是受陆地火山岩Ni含量的变化控制的，也证实了从太古宙到古元古代海水中Ni元素丰度快速下降事件的发生。


A
Global continental volcanic rocks
GOE
Ni (ppm)
Age (Ma)
B
Banded iron formations
GOE
Ni (ppm)
Age (Ma)
C
Shales
GOE
Ni (ppm)



地质历史时期全球陆地火山岩平均Ni含量变化(A)与BIF (B)和页岩(C)中Ni含量变化对比

在各类火山岩中，Ni含量最高的科马提岩的喷发主要发生于太古宙和古元古代（>20亿年前），并且科马提岩的平均Ni含量从太古宙到古元古代逐渐降低；玄武质-安山质火山岩的平均Ni含量也表现为逐渐降低的规律；而英安岩-流纹岩的平均Ni含量则始终较低。因此，全球火山岩Ni元素的总平均含量在35-20亿年前的下降趋势主要是由科马提岩比例的减少和超基性-中性火山岩中Ni含量的降低而导致的。

Ni作为一种典型的相容元素，其在玄武岩中含量的逐渐降低可能代表了岩浆形成的平衡熔融温度的下降，这与地质历史时期地球的上地幔温度逐渐降低的事实是一致的。然而在古元古代之后，玄武岩中的Ni元素含量不再降低似乎又与地幔温度演化过程相矛盾。科研人员针对这一问题做了进一步分析，因为火山岩中Ni与MgO含量正相关，以MgO代替Ni在pMELTS软件中对地幔平衡熔融过程进行了模拟，结果显示岩浆中MgO含量会同时受到温度和压力的影响。如果玄武质岩浆形成的温度降低，但压力升高，则最终形成的玄武岩中的MgO（亦即Ni）含量可能会保持不变。基于这种思考，刘鹤等检查了玄武岩-安山岩的Dy/Yb比值随时间的变化，结果显示在太古代以前，玄武岩-安山岩的平均Dy/Yb变化较小，但在古元古代之后，玄武岩-安山岩的平均Dy/Yb开始快速上升，反应了平衡熔融压力的增加。因此，地幔熔融温度降低（T↓）和压力增加（P↑）的共同作用可能是古元古代以后火山岩Ni元素平均含量不再继续降低的原因，也是海洋中Ni元素丰度20亿年以来保持不变的原因。

本研究工作受中国科学院战略性先导科技专项、国家重点研发计划、国家自然科学基金、加拿大科学与工程研究理事会联合资助。

全文链接https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117116

版权所有 © 中国科学院海洋研究所　鲁ICP备10006911号-6
鲁公网安备37020202001323号
地址：青岛南海路7号　邮编：266071　邮件：iocas@qdio.ac.cn
技术支持：青云软件